

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**FELIPE DARÓS TOMAZI**

**ESTUDO DE VIABILIDADE LOCACIONAL E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO  
DE UM ATERRO DE RESÍDUOS PERIGOSOS EM CRICIÚMA/SC**

**CRICIÚMA**

**2015**

**FELIPE DARÓS TOMAZI**

**ESTUDO DE VIABILIDADE LOCACIONAL E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO  
DE UM ATERRO DE RESÍDUOS PERIGOSOS EM CRICIÚMA/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

**Orientador: Prof. MSc. Gustavo José Deibler  
Zambrano**

**CRICIÚMA  
2015**

**FELIPE DARÓS TOMAZI**

**ESTUDO DE VIABILIDADE LOCACIONAL E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO  
DE UM ATERRO DE RESÍDUOS PERIGOSOS EM CRICIÚMA/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção de Grau de Engenharia Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental na Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Criciúma, 26 de Novembro de 2015.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Gustavo José Deibler Zambrano – Mestre – (UNESC) - Orientador

Prof. Mário Ricardo Guadagnin – Mestre – (UNESC)

Prof. Nadja Zim Alexandre – Mestre – (UNESC)

**Dedico o meu título de Engenheiro à minha amada mãe que “lutou” por tanto tempo sozinha para criar e educar com excelência tanto eu, quanto meu irmão.**

## **AGRADECIMENTOS**

Meu agradecimento antes de tudo é ao meu Deus, a Jesus e ao Espírito Santo, por primeiramente me dar o maior dom de todos que é a vida, segundo por ter me dado a chance de ser perdoado pelas minhas transgressões, que foi através do maior ato de amor que essa terra já viu, onde o Cordeiro foi moído e levado mudo ao matadouro para então levar toda a nossa maldição para aquela cruz, rasgando o véu que nos separava da presença de Deus e nos dando a salvação por meio da fé no Seu nome, “porque dEle e por Ele, e para Ele, são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente. Amém.” (Romanos 11:36)

Depois meu agradecimento vai a Deus novamente por ter me dado uma família maravilhosa, que me ajudou direta e indiretamente a me tornar uma pessoa com personalidade forte, com uma visão holística deste mundo e ter minha própria opinião, mesmo que ninguém mais a tenha, e o principal que é não me corromper por mais que isso me prejudique e afaste muitos de mim. Foi através desta família que aprendi a amar e a perdoar os erros das pessoas, que todos somos iguais, errantes e que sem Ele nunca seremos felizes.

Agradeço também a Deus pelo meu pai, por ter se tornado uma benção na minha vida depois de tudo, onde hoje me dá orgulho de dizer que é um exemplo de superação em todos os sentidos e é o melhor pai que eu poderia ter nesse mundo.

Agradeço a Deus por me dar um irmão que por mais que somos diferentes, me ensinou a ser forte, a me virar sozinho, ser honesto e ter bom caráter.

E a minha maior gratidão a Deus é pela esposa agraciada, prudente, sábia e com tanta fé que Ele me deu.

Não posso deixar de agradecer também meu orientador Gustavo Zambrano, pela parceria, paciência em “quase” todos os momentos e pelo esforço em me ajudar nesse caminho pouco percorrido e com vários trechos desconhecidos.

Obrigado Deus por mais uma etapa concluída na minha vida!!!

**“O temor do Senhor é o princípio do conhecimento, mas os insensatos desprezam a sabedoria e a disciplina.”**

**Provérbios 1:7**

## RESUMO

A geração de resíduos industriais perigosos é um problema atualmente enfrentado pela sociedade, tanto pela classe empresarial por não ter um local próximo adequado para dar o destino, quanto para o meio ambiente e consequentemente a saúde humana pela disposição inadequada. Torna-se cada vez mais desafiador e oneroso dar um destino ambientalmente adequado para os resíduos industriais perigosos. A concepção deste estudo provém da necessidade no município de Criciúma/SC em ter um local adequado para dar o destino de resíduos industriais perigosos. Atualmente os locais mais utilizados pelas empresas do município, estão localizados nos municípios de Chapecó/SC, Joinville/SC e Blumenau/SC, levando um acréscimo elevado ao custo da destinação desses resíduos. Este trabalho busca realizar um estudo de uma viabilidade locacional e econômica para a implementação de um aterro de resíduos industriais perigosos no município de Criciúma/SC, para este fim utiliza-se de várias ferramentas didáticas, normas da ABNT, resoluções de conselhos ambientais, legislações municipais, dentre outras diretrizes e critérios de engenharia que deverão ser respeitadas. Há vários métodos de tratamento de resíduos perigosos, mas que ainda o aterro é a forma com maior viabilidade econômica para destinar este tipo de resíduo, possuindo uma segurança satisfatória no seu confinamento e tendo vários locais no município aptos para a implementação deste empreendimento.

**Palavras-chave:** Aterro industrial. Viabilidade locacional. Resíduos perigosos. Criciúma/SC.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Corte da seção de uma célula de aterro de resíduos perigosos .....	30
Figura 2 - Guarita de entrada do aterro de resíduos perigosos.....	49
Figura 3 - Administração, laboratório e vestiário. ....	50
Figura 4 - Balança rodoviária e guarita do balanceiro (pesagem) .....	50
Figura 5 - Armazenamento temporário de resíduos perigosos.....	51
Figura 6 - Galões de PEAD para armazenamento de resíduos perigosos.....	51
Figura 7 - Garagem dos equipamentos pesados, vestiário dos colaboradores e área de lazer .....	52
Figura 8 - Estação de tratamento de efluentes (percolado) com a casa de máquinas .....	52
Figura 9 - Célula de disposição de resíduos encerrada .....	53
Figura 10 - Perfil da célula de disposição de resíduos .....	53
Figura 11 - Perfil detalhado da célula de disposição de resíduos .....	54
Figura 12 - Vista geral da infraestrutura do aterro de resíduos perigosos.....	54
Figura 13 - Vista panorâmica do aterro de resíduos perigosos.....	55



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Base de dados da viabilidade locacional para aterro de resíduos perigosos no município de Criciúma/SC .....	40
Tabela 2 - Os 30 principais municípios do Rio Grande do Sul geradores de resíduos perigosos.....	44
Tabela 3 – Dados do município de Criciúma/SC no censo de 2000 com o resultado da regressão linear múltipla indicando a possível geração de resíduos perigosos ...	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AMREC	Associação dos Municípios da Região Carbonífera
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COMDEMA	Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FATMA	Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente
FGV	Fundação Getúlio Vargas
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUDEPE	Superintendência do Desenvolvimento da Pesca

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL VERSUS RESÍDUOS SÓLIDOS .....	15
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	17
<b>2.2.1 Definição .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2 Classificação .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.3 Origem dos resíduos.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.4 Métodos de disposição final .....</b>	<b>20</b>
2.2.4.1 Lançamento a céu aberto.....	20
2.2.4.2 Aterro controlado.....	21
2.2.4.3 Aterro sanitário .....	21
2.2.4.4 Aterro industrial .....	22
<b>2.2.5 Gerenciamento de resíduos .....</b>	<b>22</b>
2.3 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PERIGOSOS.....	23
<b>2.3.1 Processos físicos.....</b>	<b>24</b>
2.3.1.1 Centrifugação .....	24
2.3.1.2 Separação gravitacional .....	24
2.3.1.3 Redução de partículas.....	24
<b>2.3.2 Processos térmicos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.3 Processos biológicos .....</b>	<b>26</b>
2.3.3.1 Landfarming .....	26
2.4 MUNICÍPIO DE CRICIÚMA/SC.....	26
<b>2.4.1 Informações gerais.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2 Associação dos municípios da região carbonífera - AMREC.....</b>	<b>27</b>
2.5 ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PERIGOSOS.....	27
<b>2.5.1 Critérios para localização .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.2 Aspectos construtivos.....</b>	<b>28</b>
2.5.2.1 Impermeabilização do aterro .....	29
2.5.2.2 Sistema de drenagem superficial .....	31
2.5.2.3 Sistema de drenagem subsuperficial de percolado e tratamento.....	31
2.5.2.4 Sistema de detecção de vazamento de percolado .....	33

2.5.2.5 Poços de monitoramento de aquíferos.....	33
2.5.2.6 Controle de entrada de resíduos .....	33
2.5.2.7 Pesagem .....	34
2.5.2.8 Armazenamento temporário de resíduos perigosos .....	34
<b>2.5.3 Dimensionamento de aterro .....</b>	<b>34</b>
2.5.3.1 Volume de resíduos.....	35
2.5.3.2 Volume total necessário do aterro .....	35
2.5.3.3 Cálculo da área de aterro .....	36
2.5.3.4 Cálculo da célula .....	37
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>39</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>42</b>
4.1 VIABILIDADE LOCACIONAL .....	42
4.2 MÉTODO CONSTRUTIVO DO ATERRO DE RESÍDUOS PERIGOSOS .....	43
4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA .....	55
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial iniciada na Inglaterra entre os séculos XVIII e XIX, com o aparecimento do tear mecânico nas indústrias de algodão, uma problemática surgiu devido ao aumento dos resíduos gerados com maiores proporções, decorrente por parte das indústrias e da sociedade num todo. Somente na década de 60 do século XX surgiu um interesse pela área ambiental, com isso iniciaram movimentos de ambientalistas defendendo um desenvolvimento sustentável, aliando o avanço econômico com a mitigação dos impactos ambientais gerados (CHAVES, 2014).

A partir da necessidade por parte da sociedade e do poder público, foi sendo exigido gradativamente a destinação correta dos resíduos sólidos no Brasil, em virtude do aumento da disposição inadequada de resíduos em lixões a céu aberto em todo o país, levando um problema cada vez maior aos governos municipais em destinar os resíduos domésticos e industriais gerados.

Surgiram novas tecnologias destinadas aos aterros municipais, a fim de potencializar a capacidade dos mesmos, evitando maior exposição dos resíduos domiciliares e industriais ao meio ambiente e a saúde humana, proporcionando um maior controle ambiental e sanitário. Ao avançarem as tecnologias empregadas no contexto de gerenciamento de resíduos sólidos, juntamente com os órgãos fiscalizadores e licenciadores exigiram um maior controle ambiental para os setores industrial e domiciliar que geram resíduos. A distinção dos resíduos domésticos e industriais, se deram principalmente com a instituição da Lei nº 12.305/10 no art 1º que trata sobre a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, trouxe “diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.”

O setor industrial possui um potencial de gerar maior quantidade de resíduos perigosos Classe I, onde a destinação ambientalmente adequada é realizada em aterros de resíduos perigosos, exclusivos para recebimento de resíduos oriundos de indústrias, unidades de saúde e outros setores. Segundo dados do IBGE (2015), o município de Criciúma possui um PIB de 5.072.699 mil reais, população estimada de 206.918 habitantes e 9.035 empresas atuantes, sendo um possível atrativo para a implantação deste tipo de empreendimento, desta forma

este trabalho tem como objetivo principal a elaboração de um estudo de viabilidade locacional e econômica para implantação de um aterro de resíduos perigosos em Criciúma, SC e objetivos específicos: a) estruturar um banco de dados municipal para proposição da viabilidade locacional; b) definir um método construtivo para um aterro de resíduos perigosos no município de Criciúma/SC; c) apresentar um memorial de cálculo da célula de disposição; d) realizar uma estimativa de custo de pré-implantação e implantação do aterro de resíduos perigosos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL VERSUS RESÍDUOS SÓLIDOS

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente nº 6.938/81 pode ser considerada o grande marco legislativo do direito ambiental brasileiro. Sancionada no início da década de 1980, quando a tônica ambiental era apenas uma difusa ideologia de alguns ambientalistas. Esta lei foi fundamental para a proteção e melhoria da qualidade ambiental, trazendo conceitos, princípios e regras jurídicas que até hoje podem ser consideradas, em boa parte, contemporâneas a nossa sociedade. Algumas das considerações importantes foram a utilização racional dos recursos ambientais, a compatibilização do desenvolvimento econômico com a preservação da qualidade do meio ambiente, o que atualmente denominamos desenvolvimento sustentável, como também o conceito de imposição (termo típico do regime militar) ao poluidor, da obrigação de recuperar os danos causados, bem como o usuário do recurso ambiental. Derivou-se desta lei também os principais instrumentos de planejamento e gestão territorial, tais como: estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, zoneamento ambiental, avaliação de impactos ambientais, licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, entre outros (VALLE, 2008).

Uma ferramenta jurídica importante regulamentada em 24 de julho de 1985, na Lei Federal nº 7.347, onde disciplina a Ação Civil Pública para pôr a disposição da sociedade civil, do Ministério Público e de alguns órgãos de governo para proteger os direitos difusos e coletivos, dentre os quais se inclui o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, conforme o Art. 225 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (VALLE, 2008).

Em 22 de fevereiro de 1989, a Lei nº 7.735 extingue a Secretaria Especial do Meio Ambiente - SEMA e a Superintendência do Desenvolvimento da Pesca - SUDEPE e cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA com a finalidade de:

- exercer o poder de polícia ambiental;
- executar ações das políticas nacionais de meio ambiente, referentes às atribuições federais, relativas ao licenciamento ambiental, ao controle da qualidade ambiental, à autorização de uso dos recursos naturais e à fiscalização, monitoramento e controle ambiental, observadas as diretrizes emanadas do Ministério do Meio Ambiente; e

executar as ações supletivas de competência da União, de conformidade com a legislação ambiental vigente. (BRASIL, 1989)

A Lei de Crimes Ambientais nº 9.605/98, no Art. 54, do Parágrafo V, Inciso 2º caracteriza como crime ambiental com pena de um a cinco anos de reclusão, o lançamento de resíduos em qualquer estado físico que esteja em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos. Já no Art. 56, Parágrafo II e Inciso 1º, têm como pena de um a quatro anos de reclusão, mais multa, quem “manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento” (BRASIL, 1998).

Posteriormente, já no início do século XXI surgiu outra lei importante para o desenvolvimento planejado dos municípios, denominado de Estatuto da Cidade com o nº 10.257 de 2001, onde regulamenta os artigos 182 e 183 da constituição federal de 1988, que instituiu entre outros, o plano diretor municipal. Essa ferramenta de gestão ambiental, obrigatória para municípios com população superior a 20 mil habitantes, incluiu no estatuto o uso e ocupação do solo, bem como a participação da sociedade no destino do município, através de audiências públicas (BRASIL, 2001).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/10 onde estabelece um avanço na gestão ambiental no Brasil, tem como objetivo a prevenção e redução na geração de resíduos, como propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos. Criando metas importantes para eliminação do principal problema atual de gestão residual no país que seria a disposição de resíduos em lixões a céu aberto. Dentro dessas metas, há o aumento da reciclagem de resíduos no Brasil para 20% no ano de 2015 (BRASIL, 2010).

Ainda pela Lei nº 12.305, ordena a prioridade na gestão de resíduos sólidos primeiramente com a não geração, caso gere procurar reduzir o mesmo, após a geração reutilizar se possível, então caso não possa ser reutilizado buscar a viabilidade da reciclagem, caso não possua deverá realizar o tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

No estado de Santa Catarina (1975) a jornada ambiental inicia em 30 de julho de 1975 com a instituição da Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio



Ambiente (FATMA) através do decreto nº 662. Em 04 de outubro de 2005, Santa Catarina (2005) sanciona a Lei 13.517 dispõe sobre a Política Estadual de Saneamento, que dentre suas providências está a disposição de resíduos de competência dos governos municipais. Em 13 de abril de 2009, o governo de Santa Catarina (2009) sanciona a Lei nº 14.675 que institui o Código Estadual do Meio Ambiente, onde trata dentre seus princípios a racionalização, planejamento e fiscalização no uso dos recursos ambientais, como também o controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras.

A legislação municipal referente ao interesse ambiental pode-se citar a Lei nº 2.508, conforme Criciúma (1990) sobre a recuperação de áreas degradadas, a Lei nº 2.974 de Criciúma (1994) sobre a Legislação Ambiental, a Lei nº 3.900 de Criciúma (1999) que institui a lei do zoneamento de uso do solo do município, a Lei nº 3.901 de Criciúma (1999) que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, a Lei nº 3.948 de Criciúma (1999) sobre a recepção de resíduos sólidos potencialmente perigosos à saúde e ao meio ambiente, a Lei nº 4.400 de Criciúma (2002) que dispõe sobre a política de proteção do controle da conservação do meio ambiente e da melhoria da qualidade de vida, a Lei nº 4.502 de Criciúma (2003) que trata de área de proteção ambiental, a Lei nº 4.924 de Criciúma (2006) que proíbe a instalação de incineradores que se baseiam em tecnologias de combustão para tratamento final de resíduos de serviços de saúde e resíduos industriais perigosos ou tóxicos e também a queima de resíduos a céu aberto, a Lei nº 5.373 de Criciúma (2009) sobre ruídos urbanos nocivos à saúde e a Lei nº 5.849 de Criciúma (2011) que disciplina sobre o corte de árvores no município.

## 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduos sólidos são materiais heterogêneos, que Lima ainda define como o resultado principalmente das ações antrópicas, os quais podem ser reutilizados e reciclados, gerando entre outros aspectos, proteção à saúde pública e economia de recursos naturais.

Segundo a ABRELPE (2015), o Brasil gerou aproximadamente 78,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2014, cerca de 2,9% de aumento comparado ao ano anterior, sendo superior a taxa de crescimento populacional no mesmo período, registrando 0,9%. No ano de 2013, a geração de

RSU foi de 379,96 kg/hab/ano, já no ano de 2014 foi de 387,63 kg/hab/ano, um aumento de 2,02%. Já a coleta de RSU no Brasil em 2013 obteve uma cobertura de 90,6% dos resíduos gerados, constatando pouco mais de 7 milhões de toneladas que tiveram um destino impróprio.

### **2.2.1 Definição**

De acordo com a ABNT, na norma NBR (10004:2004, p. 1) os resíduos sólidos são definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, inserida na Lei 12.305/2010, define os resíduos sólidos assim:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

A evolução na geração de resíduos pela sociedade atual segundo Naime (2005) vem aumentando 5% ao ano na produção “per capita”, onde esta produção se diferencia no padrão de consumo de populações ricas (consumo maior) das populações pobres (consumo menor), conseqüentemente quanto o maior a renda, maior a geração de resíduos. O autor ainda destaca que o tipo de resíduo gerado se diferencia conforme o nível de desenvolvimento do país, onde os países mais desenvolvidos produzem grande quantidade de resíduos industrializados, como embalagens, os países menos desenvolvidos geram resíduos com grande quantidade de matéria orgânica, como restos de alimentos.

## 2.2.2 Classificação

Os resíduos são classificados como consta na NBR 10004 (ABNT, 2004) em:

- a) **Resíduos Classe I – Perigosos:** quando apresenta periculosidade em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, ou uma das características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (ABNT, 2004).
- b) **Resíduos Classe II – Não Perigosos:** são divididos em resíduos Classe IIA (Não Inerte) e resíduos Classe IIB (Inerte) (ABNT, 2004);
  - i. **Resíduos Classe IIA (Não Inerte):** são resíduos que não se enquadram na Classe I (Perigosos), nem na Classe IIB (Inertes), podendo ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004);
  - ii. **Resíduos Classe IIB (Inerte):** são quaisquer resíduos amostrados de forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

Segundo Castilhos Junior (2006), as características físicas, químicas e biológicas dos resíduos sólidos podem ser identificadas em qualquer etapa do gerenciamento dos mesmos, e dependendo do momento que é realizado a amostragem, devido ao processo de geração, manejo ou técnicas de tratamento e disposição final, as características dos resíduos podem ser alteradas.

## 2.2.3 Origem dos resíduos

Na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) em seu art. 13 os resíduos são classificados quanto a sua origem como:

- a) Resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) Resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) Resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) Resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS;

- h) Resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reforma, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) Resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) Resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) Resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

## **2.2.4 Métodos de disposição final**

Em grande parte dos municípios brasileiros não são adotados soluções técnicas de disposição de resíduos sólidos adequadamente, sendo comumente encontrados lixões a céu aberto, tendo como resultado de tais ações, a desfiguração da paisagem, a poluição visual, o odor, a desvalorização de áreas, a proliferação de vetores, a degradação do solo, da água e do ar, bem como a exposição inadequada de pessoas às substâncias patogênicas presentes nesses ambientes (MOTA, 1997).

Conforme a ABRELPE (2015), a situação da destinação final adequada dos resíduos sólidos no Brasil em 2014 manteve-se estável em relação a 2013, totalizando 58,4%, ou seja, 29.650.170 de toneladas de resíduos sólidos foram destinados para lixões a céu aberto e aterros controlados no ano.

### **2.2.4.1 Lançamento a céu aberto**

É a forma mais simples e infelizmente a mais usual de disposição final de resíduos. Geralmente se usa áreas nas regiões periféricas ou terrenos baldios, dependendo do tamanho do município e da gestão urbana do mesmo, sendo lançado resíduos de qualquer natureza, independente do grau de periculosidade e potencial de contaminação a céu aberto (NAIME, 2005).

Segundo Bezen (2008), a disposição de resíduos em lixões é a pior forma possível de solução, onde os resíduos são lançados diretamente no solo e a céu aberto sem controle algum, gerando vários problemas ambientais, como a poluição da água, do solo e do ar, resultando também em problemas de saúde pública.

Os danos aos meios físico, biótico e antrópico são numerosos e desnecessários de se listar, conforme Naime (2005). Onde esta forma de disposição final segundo o autor, além de estimular a proliferação de vetores e demais

constituintes da fauna sinantrópica, causa graves contaminações em águas superficiais e subterrâneas, principalmente através da lixiviação.

A ABRELPE (2015) quantificou o número de municípios no Brasil que destinam seus resíduos em lixões a céu aberto em 1.559 no ano de 2014.

#### 2.2.4.2 Aterro controlado

Conforme a NBR 8849 ( ABNT, 1985, p. 2), aterro controlado é definido da seguinte forma:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho.

Naime (2005) define como a disposição de resíduos sólidos urbanos diretamente nos solos, com precauções tecnológicas executivas no desenvolvimento do aterro, realizando a cobertura argilosa periodicamente, evitando assim o desenvolvimento de vetores, e instalando sistema de drenagem para mitigar os impactos ambientais como a formação de lixiviados.

O autor defende que a técnica empregada apesar de superior ao simples “lixão a céu aberto”, não é suficiente para a disposição final adequada dos resíduos.

Segundo dados da ABRELPE (2015), o número de municípios em 2014 que destinaram seus resíduos sólidos para aterro controlado foram de 1.775.

#### 2.2.4.3 Aterro sanitário

A NBR 8419 (ABNT, 1992, p. 1) define um aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

Aterro sanitário é o destino dos resíduos domiciliares, mediante critérios de engenharia e normas operacionais específicas, assegurando o confinamento seguro do lixo em termos de controle da poluição ambiental e proteção ao meio

ambiente. O solo do aterro é impermeabilizado, compactado e recoberto por camadas de terra periodicamente, onde a estrutura ainda conta com sistema de drenagem, captação e tratamento de chorume, bem como a captação e tratamento dos gases gerados pela decomposição da matéria orgânica (BEZEN, 2008).

A ABRELPE (2015) estimou em 2.236 municípios que utilizam aterros sanitários para destinação adequada de resíduos sólidos no ano de 2014.

#### 2.2.4.4 Aterro industrial

Conforme ABNT NBR 8418/83 consiste numa técnica de disposição de resíduos industriais perigosos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, mitigando os impactos ambientais negativos, em que utilizando os princípios de engenharia através do método de confinamento desses resíduos em uma menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, realizando uma cobertura argilosa em cada jornada de trabalho, ou em intervalos menores, dependendo da necessidade de cada projeto.

Bezen (2008) definem como um local de disposição de resíduos provenientes de indústrias, onde não causa danos ou riscos à saúde pública. São utilizadas técnicas de engenharia para confinamento de resíduos perigosos em função de suas características, tais como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

#### 2.2.5 Gerenciamento de resíduos

No princípio da raça humana, os resíduos gerados eram na maioria de origem orgânica e não existia preocupação a esse respeito, pois a população era desprezível comparada à grande área disponível que existia. Somente quando os seres humanos passaram a viverem em conjunto, tais como aldeias, tribos e cidades é que os problemas advindos da geração de resíduos começam a ser identificados, segundo Tchobanoglous; Theisen; Vigil (1993 apud SIMIÃO, 2011).

Ainda conforme Simião (2011, p. 23), os fatores ponderantes para a situação contemporânea de uma população abundante e ainda crescente se deve através do aumento da produção de alimentos, da melhoria da qualidade de vida no meio urbano, o avanço da medicina frente às epidemias e doenças diversas,

saneamento básico e os benefícios oriundos da Revolução Industrial. Através desses fatores a taxa de mortalidade declinou acentuadamente, levando um crescimento natural. Consequentemente com o crescimento populacional, aumentou-se o consumo de recursos renováveis e não renováveis gerando uma maior quantidade de resíduos, tornando o gerenciamento de resíduos complexo pela quantidade e variedade do mesmo, levando a uma degradação acelerada do meio ambiente.

A PNRS no inciso X, do art. 3º, instituída pela Lei nº 12.305/2010, define gerenciamento de resíduos sólidos como:

conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei (BRASIL, 2010);

Assim, para se obter um gerenciamento de resíduos eficaz deve-se seguir uma hierarquização, onde deve ser obedecida uma sequência planejada através de ações pontuais e estratégicas, tais como: redução na fonte, minimização, reprocessamento, reutilização, separação, processamento, tratamento e disposição (SIMIÃO, 2011).

## 2.3 TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PERIGOSOS

O tratamento de resíduos industriais perigosos deve sempre buscar preliminarmente sua reutilização, posteriormente sua reciclagem, por fim caso não haja outra solução deve-se pelo menos inertizá-lo (PINTO, 2011).

São vários métodos de tratamento e disposição de resíduos perigosos disponíveis, dentre eles há os processos físicos, os processos térmicos, os processos biológicos e disposição em aterros industriais que serão explanados a seguir.

### **2.3.1 Processos físicos**

#### **2.3.1.1 Centrifugação**

É um processo mecânico que age através da força centrífuga onde faz a separação de substâncias pelas diferentes densidades (MAROUN, 2011).

#### **2.3.1.2 Separação gravitacional**

Através da velocidade de sedimentação dos sólidos, da viscosidade do fluido e da concentração de partículas se realiza a separação de misturas heterogêneas (bifásicas, trifásicas ou polifásicas) por ação da gravidade (MAROUN, 2011).

#### **2.3.1.3 Redução de partículas**

Método mecânico que consiste no uso de equipamentos de peneiramento para obter um resíduo final com uma granulometria menor (MAROUN, 2011).

### **2.3.2 Processos térmicos**

#### **2.3.2.1 Incineração**

É o processo de combustão controlada com o uso de oxigênio com o objetivo de degradar termicamente os materiais residuais numa temperatura em torno de 1000°C. Os resíduos sólidos são reduzidos cerca de 60 a 90% do seu peso e volume original, gerando gases, materiais inertes (cinzas e escórias de metal) e calor (PINTO, 2011).

Os gases oriundos do processo de incineração com certeza é o principal problema no uso deste método de tratamento residual, devido ao elevado risco de contaminação do ar pela geração de dioxinas e furanos, gases ácidos, metais pesados, dentre outros poluentes (GRIPPI, 2001).



### 2.3.2.2 Coprocessamento

É a técnica de reaproveitamento de resíduos como substitutos parciais de matéria prima ou combustível no sistema de forno para produção de clínquer (cimento), a combustão gira em torno de 1500°C, apresentando como vantagem a viabilidade econômica considerável em relação ao incinerador clássico, podendo ser dez vezes mais barato, além de dispensar a disposição de cinzas e escórias geradas durante o processo (PINTO, 2011).

Mas como se trata de um forno de combustão deve-se tomar medidas de controle de emissões atmosféricas para mitigar a dispersão de materiais particulados, SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> para atmosfera (MAROUN, 2006).

### 2.3.2.3 Pirólise

São processos que degradam termicamente o material sem adição de ar ou oxigênio, numa temperatura aproximada de 900°C, geralmente utilizado para a produção de combustível líquido (óleo de pirólise), sendo usado em motores, produtos químicos e adesivos. Apesar de ser energeticamente autossustentável é necessário aquecer os resíduos utilizando eletricidade (FURLAN, 2007).

Conforme Tochetto (2005) a pirólise é considerada uma tecnologia adequada para o tratamento de resíduos poliméricos por não gerar anéis aromáticos, dioxinas, furanos, CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>.

### 2.3.2.4 Plasma térmico

O plasma é conhecido como o quarto estado da matéria e é formado pela mistura de partículas neutras (átomos e moléculas), elétrons e íons. O plasma térmico é gerado pelo uso da tocha de plasma que é um equipamento a arco elétrico, de eletrodo não consumível, capaz de manter um fluxo de gás controlado, extremamente quente, altamente luminoso e também autossustentável (GODOY, 2001).

Facó (2004) diz que o arco de plasma não se enquadra como incineração, pois ele dissocia suas ligações químicas submetendo a um campo de plasma de alta energia, fazendo com que os íons resultantes se combinem em subprodutos

elementares inofensivos, principalmente sais e um gás com baixo BTU (unidade térmica britânica) no caso dos bifenilos policlorados.

O plasma pode ser usado para o tratamento de diversos tipos de resíduos perigosos, tais como: cinzas tóxicas, solo contaminado, borra de tinta e óleo, lixo hospitalar, lixo radioativo, dentre outros. Sendo que sua eficiência em reduzir o volume do resíduo pode ser superior a 99%, gerando uma grande parte de monóxido de carbono e hidrogênio na sua emissão, podendo ser utilizado para a geração de energia (SOUZA, 2014).

### **2.3.3 Processos biológicos**

#### **2.3.3.1 Landfarming**

É uma técnica de tratamento biológico no qual se utiliza dos microrganismos presentes no solo para decompor a parte orgânica do resíduo, comumente usado na disposição final de derivados de petróleo e compostos orgânicos. Este tipo de tratamento se concentra na parte superficial do solo, entre 15 a 20 cm, denominado como zona arável (MONTEIRO et al, 2001).

As bactérias, fungos e protozoários existentes no solo superficial utilizam o contaminante como fonte de alimento, transformando-o em produtos inócuos. Esta técnica é usado como processo de tratamento e disposição (TOCHETTO, 2005),

## **2.4 MUNICÍPIO DE CRICIÚMA/SC**

A origem do município de Criciúma se teve no início do século XIX com a chegada dos imigrantes oriundos da Itália, mais precisamente das regiões de Veneza e Treviso, com aproximadamente 139 pessoas, que se instalaram na região baseando-se na atividade agrícola como a economia principal. Após 1890 foram chegando imigrantes alemães, portugueses e poloneses vindos da região de Laguna. Em 1892 foi considerado distrito de Araranguá com o nome Cresciúma, onde somente em 1925 emancipou-se e em 1948 passou a se chamar Criciúma (IBGE, 2015).

### **2.4.1 Informações gerais**

Atualmente Criciúma pertence a região da AMREC (Associação dos municípios da região carbonífera) com uma população estimada de 206.918 habitantes numa área de 235.701 km<sup>2</sup>, sendo que em 2013, o município apresentava 9.035 empresas atuantes (IBGE, 2015).

### **2.4.2 Associação dos municípios da região carbonífera - AMREC**

A AMREC foi fundada em 25 de abril de 1983 com sete municípios, hoje conta com doze municípios, sendo Criciúma (sede), Urussanga, Lauro Müller, Nova Veneza, Morro da Fumaça, Siderópolis, Içara, Forquilha, Cocal do Sul, Treviso, Orleans e Barneário Rincão. A entidade nasceu com objetivo de ampliar e fortalecer a capacidade administrativa, econômica e social dos municípios, promovendo a relação intermunicipal e intergovernamental (AMREC, 2015).

## **2.5 ATERRO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PERIGOSOS**

Conforme a Resolução CONAMA 001//86, torna-se obrigatório a elaboração por parte do empreendedor do Estudo de Impacto Ambiental – EIA, juntamente com o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, com a finalidade de realizar o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, onde no município de Criciúma/SC seria pela Resolução CONSEMA 014/12, licenciada pelo órgão ambiental competente.

### **2.5.1 Critérios para localização**

Conforme a NBR 10157 (ABNT, 1987), o local de instalação do empreendimento deve ser precedido por medidas que causem o menor impacto ambiental possível, tenha uma aceitação satisfatória por parte da comunidade, esteja de acordo com o Plano Diretor Municipal e tenha uma vida útil longínqua.

Sendo que os critérios a serem utilizados para a escolha da área devem obedecer aos seguintes parâmetros:

- Topografia: a declividade do terreno deve ter ser superior a 1% e inferior a 20%;
- Geologia e tipo de solos existentes: o local deve ter um estudo que contemple que a área não possui risco a inundações num período de 100 anos. A camada de espessura entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático (medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região) deve ter no mínimo 1,50 m de solo insaturado. O solo da área deve ter um coeficiente de permeabilidade inferior a  $5,0 \times 10^{-5}$  cm/s;
- Recursos hídricos: o aterro deve ter uma distância mínima de 200 metros de qualquer coleção hídrica ou curso de água mais próxima;
- Vegetação: a importância do estudo macroscópico para evitar os processos erosivos, dispersão de material particulado e odor;
- Acessos: fator de extrema importância durante toda a operação do empreendimento, preferencialmente não deve estar às margens de rodovias, estradas e demais vias de uso comum;
- Vida útil: recomenda-se que o aterro seja projetado com vida útil de no mínimo 10 anos, sendo que a área deve ter as dimensões compatíveis;
- Custos: deve ser elaborado um cronograma físico-financeiro para garantir a viabilidade econômica do empreendimento desde sua implantação até seu pós-fechamento;
- Distância de núcleos populacionais: deve ser considerado uma distância superior a 500 metros.

### **2.5.2 Aspectos construtivos**

Existe três métodos construtivos de aterro, sendo eles:

- Método trincheira ou vala: consiste na disposição de resíduos no fundo de escavações em trincheiras, onde o resíduo é compactado e coberto com solo (JARAMILLO, 1991);
- Método de superfície: utilizado em terreno seco e plano através de terraplanagem, onde os resíduos são depositados por uma rampa construída, formando células em escala ascendente (JARAMILLO, 1991);
- Método de combinação de ambos: empregado em locais onde a topografia é irregular e cujo lençol freático encontra-se numa profundidade mínima

de operação, não sendo necessário nenhum trabalho de preparo, podendo aproveitar alguma área degradada para realizar sua recuperação (JARAMILLO, 1991).

A NBR 10157 (ABNT, 1987) orienta que um aterro industrial deva ser isolado completamente a fim de evitar a entrada de pessoas não autorizadas e animais, sendo sinalizado com placas informando “Perigo - Não Entre”, bem como a implantação de cortina vegetal no entorno do empreendimento para evitar impactos negativos à vizinhança.

Krugel (2013, p. 33) ressalta que não há drenagem de gases em aterros de resíduos industriais perigosos, pois as técnicas de inertização adotadas (encapsulamentos e solidificações) e o tipo de resíduos dispostos fazem com que a geração de gases seja desprezível.

Conforme Tochetto (2005), no projeto executivo deve ser contemplado os seguintes aspectos:

- Sistemas de drenagem de águas pluviais;
- Sistema de impermeabilização;
- Sistema de detecção de vazamentos;
- Sistema de cobertura (telhado);
- Sistema de drenagem subsuperficial e tratamento de percolado;
- Poços de monitoramento do aquífero.

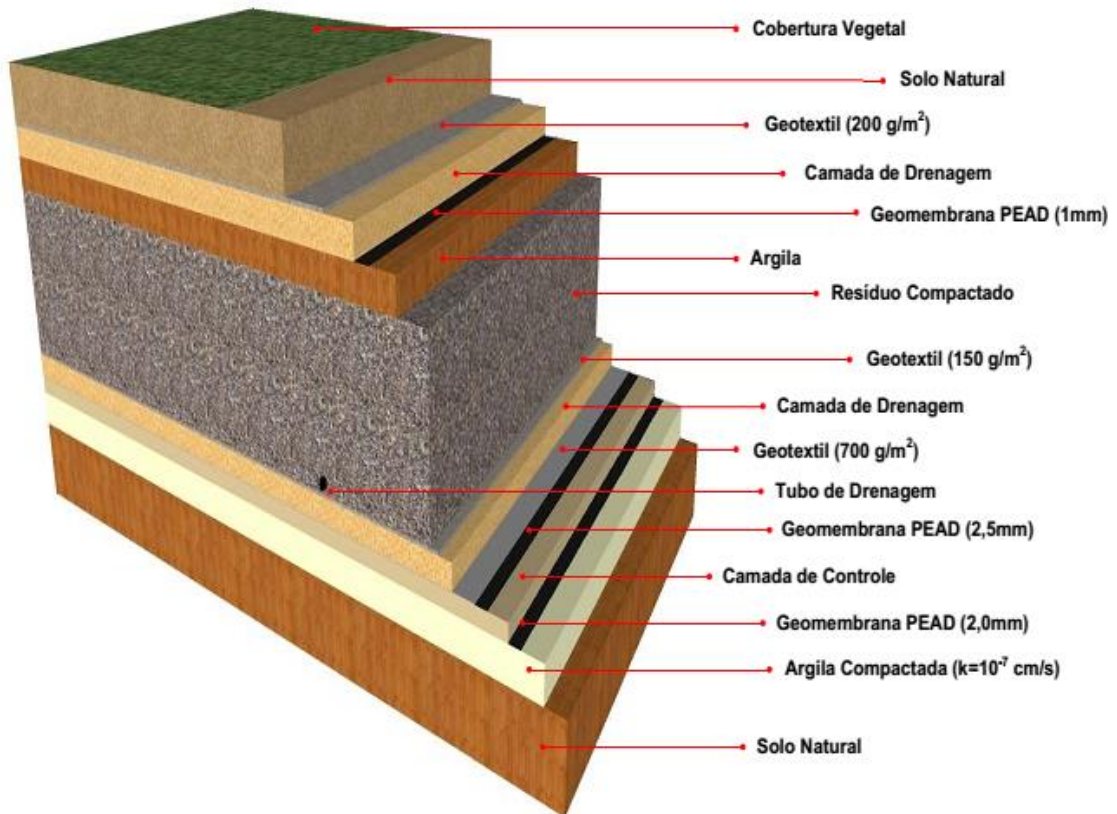
#### 2.5.2.1 Impermeabilização do aterro

O projeto para o aterro industrial deve contemplar um sistema duplo de impermeabilização inferior, sendo inicialmente uma camada de argila compactada sobreposto por uma manta sintética, alcançando no mínimo uma espessura de 60 cm e um coeficiente de permeabilidade de no máximo  $1,0 \times 10^{-7}$  cm/s. Posteriormente deve-se colocar uma camada mínima de terra de 50 cm, respeitando uma espessura mínima de 2 metros do nível mais alto do lençol freático até a superfície inferior do aterro (PINTO, 2011).

Segundo a NBR 10157 (ABNT, 1987), o sistema de impermeabilização deve ser projetado e construído de modo a evitar rupturas devido a pressões hidrostáticas e hidrogeológicas, bem como as intempéries climáticas, tensões da instalação, da impermeabilidade ou aquelas originárias da operação diária. Bem

como deve ser instalada em toda área do aterro, inclusive em suas laterais, evitando assim a contaminação do solo natural.

Figura 1 – Corte da seção de uma célula de aterro de resíduos perigosos.



Fonte: KRUGEL (2013).

Na impermeabilização da parte superior do aterro (cobertura final), deve ter uma eficiência de no mínimo igual da impermeabilização inferior, obtendo uma taxa de infiltração menor possível para realizar o selamento da célula. O sistema de impermeabilização superior deve ter primeiramente uma camada de argila compactada de 50 cm de espessura, uma manta sintética com a mesma especificação da utilizada na parte inferior do aterro, uma camada drenante de 25 cm de espessura com coeficiente de permeabilidade maior ou igual a  $1,0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$  e por derradeiro deve ser colocado uma camada de solo original de 60 cm para que seja realizado o recobrimento vegetal com plantas nativas de raízes não axiais (PINTO, 2011).

### 2.5.2.2 Sistema de drenagem superficial

Conforme Consoni; Silva; Gimenez Filho (2000), a drenagem superficial possui a finalidade de interceptar e desviar o escoamento das águas pluviais, evitando a infiltração na massa de resíduos, sendo constituído em geral, por estruturas drenantes de meia cana de concreto (canaletas), associadas com escadas d'água e tubos de concreto. Toda água pluvial drenada da superfície do aterro e das áreas adjacentes, que não foram contaminadas com os líquidos percolados da célula, deverão ser direcionadas para o corpo receptor, cuidando somente para reduzir os materiais em suspensão.

A NBR 10157 (ABNT, 1987) orienta que o aterro de resíduos perigosos deve ser projetado e executado contemplando um sistema de desvio de águas superficiais da área do aterro com capacidade de suporte de chuva de pico de 25 anos. Sendo que após as tempestades o sistema de drenagem deve ser inspecionado obrigatoriamente para realizar a manutenção necessário para o perfeito funcionamento.

Para diminuir a quantidade de percolado gerado na célula de disposição do aterro, uma forma eficiente seria realizar uma cobertura sobre a mesma, evitando assim a precipitação pluviométrica sobre a célula (KRUGEL, 2013).

### 2.5.2.3 Sistema de drenagem subsuperficial de percolado e tratamento

Este sistema consiste na coleta e condução do líquido percolado na célula, com a finalidade de redução da pressão sobre a massa de resíduos e minimização da potencialidade de migração para o subsolo, impedindo um maior desgaste nas camadas de impermeabilização do aterro (CONSONI; SILVA; GIMENEZ FILHO, 2000).

O sistema de drenagem deve ser instalado imediatamente acima da impermeabilização, evitando o acúmulo do líquido percolado superior a 30 cm sobre a impermeabilização, devendo ser construído com material resistente quimicamente ao líquido percolado e o resíduo, bem como a pressão estrutural do aterro, como preconiza a NBR 10157 (ABNT, 1987).

Conforme Jaramillo (1991, p. 38-39), a drenagem pode ser constituída por uma rede horizontal de valas preenchidas por materiais rochosos com granulometria

fina (vulgo “brita grossa”), interrompendo o fluxo contínuo do percolado em intervalos regulares através de comportas de taipa e madeira ou, inclusive, do próprio solo. O traçado do sistema de drenos poderá ser similar ao uma rede de esgotos, onde na construção das valas e comportas deverão estar distantes de 5 a 10 m entre si, com espessura de 20 a 30 cm, tendo ainda um leve declive no fundo de 2% em direção do fluxo definida no projeto. As valas deverão ser preenchidas por material rochoso com granulometria fina entre 10 e 15 cm, com objetivo de aumentar a porosidade do meio e evitar a rápida colmatção do meio drenante.

Há também o método de um sistema de tubos de coleta no fundo do aterro, dividindo os tubos em séries de faixas retangulares, com barreiras de argila na largura da célula, onde no interior destas coloca-se no sentido das tiras tubos perfurados para coleta do percolado, com declividade entre 1,2 e 1,8% diretamente sobre a camada de geomembrana. Segundo o autor é um método de coleta de percolado com maior velocidade do que outros convencionais (PINTO, 2011, p. 73).

Os aterros industriais produzem um percolado com características muito variadas, sendo difícil generalizá-las, tendo que realizar análise periodicamente para ter ciência dos parâmetros contidos no material percolado. O tratamento do percolado depende diretamente da quantidade de água incorporada, das características dos resíduos dispostos e da idade do aterro (PINTO, 2011, p. 77).

O autor ainda defende que o método de tratamento escolhido dependerá do volume e da carga poluidora a ser tratada, sendo que se o tratamento for “*in situ*”, é comum o uso de lagoas de estabilização, por apresentarem boa eficiência no tratamento do percolado, baixo custo e tecnologia simples.

Mas para o tratamento de alguns poluentes, como por exemplo os metais pesados, deve-se utilizar um tratamento físico-químico, que utiliza as seguintes técnicas: filtração, diluição, coagulação, floculação, precipitação, sedimentação, adsorção/absorção, troca iônica, oxidação química, osmose reversa, lavagem com ar, ultrafiltração, oxidação, evaporação natural e vaporização (QASIM; CHIANG, 1994 e CHRISTENSEN et al. 1989 apud ALVES; COSTA; LEITE; URENHA; 2000, p. 311).



#### 2.5.2.4 Sistema de detecção de vazamento de percolado

É o principal fator de controle ambiental em um aterro, pois caso venha ter qualquer problema de ruptura no sistema de impermeabilização pode acarretar em contaminação do solo natural e consequentemente das águas subterrâneas, para isso deve-se sempre realizar o monitoramento de poços piezométricos a montante e a jusante deste aterro, contemplando no mínimo quatro poços de inspeção, sendo um a montante e três a jusante, com a finalidade de avaliar a qualidade da água anteriormente ao empreendimento e posterior ao mesmo, observando a ocorrência de uma possível alteração da qualidade da água, onde constatando ser oriundo do aterro, devem ser realizadas as medidas corretivas necessárias (CONSONI, A. J. ; SILVA, I. C. ; GIMENEZ FILHO, A, 2000).

#### 2.5.2.5 Poços de monitoramento de aquíferos

A NBR 10157 (ABNT, 1987) orienta que os poços de monitoramento devem ter uma quantidade suficiente e instalados adequadamente para que as amostras coletadas demonstrem a real situação da qualidade das águas subterrâneas. A norma exige que tenha no mínimo quatro piezômetros, sendo um a montante e três a jusante no sentido do fluxo preferencial do lençol freático, onde os poços de monitoramento tenha um diâmetro suficiente para realizar a coleta da amostra, como também a parte superior do poço deve estar tampado e revestido para evitar a contaminação da amostra. O período de monitoramento deve ser durante toda a vida útil do aterro, incluindo após o fechamento, sendo que deverá ter no mínimo quatro análises contemplando todos os parâmetros exigidos pelo órgão licenciador durante o ano, em todos os poços instalados, com isso a cada coleta deve-se registrar também o nível do lençol freático e determinar a velocidade e direção de escoamento.

#### 2.5.2.6 Controle de entrada de resíduos

O recebimento de resíduos num aterro consiste numa etapa fundamental para o bom funcionamento do mesmo, onde a correta caracterização do resíduo evita que seja destinado um resíduo inapropriado para aquele tipo de aterro. O

controle no recebimento é realizado através de inspeção preliminar feita por um fiscal do aterro, conferindo o manifesto de carga e verificando se o motorista e a empresa coletora estão devidamente cadastrados, posteriormente o motorista é orientado para realizar a pesagem e descarregar a carga no local adequado (PINTO, 2011).

#### 2.5.2.7 Pesagem

A etapa de pesagem das cargas é de suma importância para o gerenciamento de um aterro, pois através de pesagens periódicas podem ser levantados dados quantitativos de resíduos recebidos em todas as estações do ano, conhecendo assim as flutuações na geração de resíduos perigosos na região. Recomenda-se balanças automáticas para evitar erros e fraudes e dar uma maior credibilidade para o serviço, tendo uma capacidade mínima de 30 toneladas.

No setor deve estar disponível toda documentação referente ao conteúdo da carga, dados do motorista e habilitação para transporte de resíduos perigosos, dentre outros documentos. Somente após a autorização do balanceiro é que o motorista pode subir na balança e então ser dispensado (PINTO, 2011).

#### 2.5.2.8 Armazenamento temporário de resíduos perigosos

O recebimento de resíduos perigosos após sua pesagem deve ser feito no setor de armazenamento temporário realizado por profissionais capacitados, onde os resíduos devem ser dispostos em tambores de PEAD cintados, estocados num galpão coberto, bem ventilado, organizado e a base deste galpão deve ser de laje de concreto com canaletas drenantes para que o material percolado que venha a ser derramado possa ser encaminhado para a ETE (PINTO, 2011).

### 2.5.3 Dimensionamento de aterro

Segundo Jaramillo (1991, p. 59) o volume necessário para se determinar o dimensionamento de um aterro varia em função da geração diária total de resíduos, da densidade dos resíduos estabilizados no aterro e do volume do material de cobertura (corresponde entre 20 e 25% do volume de resíduos).

### 2.5.3.1 Volume de resíduos

Para estimar o volume dos resíduos a serem dispostos no aterro, Jaramillo (1991, p. 59) recomenda que deve-se levar em consideração os parâmetros descritos anteriormente, bem como o emprego das seguintes expressões:

$$V_{dr} = \frac{MRa}{Dr} \quad (2)$$

e

$$Var = V_{dr} \times 365 \quad (3)$$

onde

$V_{dr}$  = volume diário de resíduos a aterrar ( $m^3/dia$ );

$Var$  = volume anual de resíduos a aterrar ( $m^3/ano$ );

$MRa$  = massa diária dos resíduos a aterrar ( $kg/dia$ );

365 = número de dias em um ano;

$Dr$  = densidade dos resíduos recém compactados ou estabilizados ( $kg/m^3$ ).

### 2.5.3.2 Volume total necessário do aterro

Para realizar o cálculo do volume total do aterro, Jaramillo (1991, p. 59) orienta que além de considerar as expressões reproduzidas no item anterior deve-se acrescentar o valor obtido referente ao material de cobertura da seguinte forma:

$$V_{ta} = Var \times Fmc$$

onde

$V_{ta}$  = volume total do aterro ( $m^3/ano$ );

$Fmc$  = coeficiente de incremento do volume, devido ao material de cobertura (variável entre 1,2 e 1,25).

Para se conhecer o volume total do aterro durante sua vida útil, emprega-se a equação:

$$V_{Avu} = \sum_{i=1}^n V_{ta} \quad (5)$$

onde

$V_{Avu}$  = volume do aterro durante sua vida útil ( $m^3$ );

$n$  = vida útil desejável (ou esperada) do aterro (anos).

#### 2.5.3.3 Cálculo da área de aterro

Com o volume do aterro durante sua vida útil definida, pode-se determinar a área necessária para a implementação de um aterro, desde que tenha a estimativa de altura ou profundidade do aterro. Jaramillo (1991, p. 60) ainda ressalta que para a construção de um aterro, a área selecionada depende de alguns fatores, tais como: quantidade de resíduos a aterrar, quantidade de material de cobertura, energia de compactação dos resíduos, profundidade ou altura do aterro, capacidade volumétrica do aterro e área adicionais para obras complementares.

A partir da equação (5) pode-se estimar a área necessária para a instalação do aterro com o auxílio da seguinte equação:

$$Aa = \frac{V_{Avu}}{Hm} \quad (6)$$

onde

$Aa$  = área a ser ocupada pelo aterro durante sua vida útil ( $m^2$ );

$Hm$  = altura ou profundidade média do aterro (m).

Para calcular a área total do empreendimento, somando o aterro e sua infra-estrutura básica, deve-se obter através da equação seguinte:

$$Ata = Aa \times Finf$$

onde

$Ata$  = área total necessária ( $m^2$ );

$Finf$  = coeficiente de incremento de área, necessário para a implantação da infraestrutura básica do aterro (oscila entre 20 e 40% da área do aterro).

#### 2.5.3.4 Cálculo da célula

A quantidade de resíduo que irá conformar a célula diariamente será determinada da seguinte forma (JARAMILLO, 1991):

$$MRa = Mtr \times \frac{7}{dus} \quad (8)$$

onde

$Mtr$  = massa total de resíduos gerados por dia (kg/dia);

$dus$  = número de dias úteis de operação do aterro.

$$Vc = \frac{MRa}{Dr} \times Fmc \quad (9)$$

onde

$Vc$  = volume diário da célula ( $m^3$ ).

Para determinar a dimensão da célula, deve-se estabelecer primeiramente a área da célula e posteriormente seu comprimento, conforme as equações a seguir:

$$Ac = \frac{Vc}{hc}$$

onde

$A_c$  = área da célula ( $m^2/dia$ );

$h_c$  = altura da célula (m).

$$C_c = \frac{A_c}{a}$$

onde

$C_c$  = comprimento da célula (m);

$a$  = largura da célula (m).

Levando em consideração que os taludes do perímetro da célula necessitam ser cobertos com terra, essa dimensão poderia ser obtida através da raiz quadrada da área da célula com a equação a seguir:

$$a = C_c = \sqrt{A_c}$$

### 3 METODOLOGIA

A concepção deste estudo visa a implementação de um aterro de resíduos perigosos no município de Criciúma/SC para destinar os resíduos sólidos Classe I gerados no setor industrial em local ambientalmente adequado.

O estudo irá se basear em metodologias conceituadas em implementação de aterros para resíduos perigosos com o emprego das técnicas adequadas atualmente em relação a viabilidade locacional e econômica. A metodologia utilizada no projeto para a viabilidade locacional seguirá como principal ferramenta os padrões estabelecidos no Anexo I do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares de 2004 realizado pela CETESB, a ABNT NBR 10157/1987, bem como outros oriundos de parâmetros normativos.

A viabilidade locacional foi desenvolvida através dos parâmetros pré-estabelecidos na NBR 10157/87, tais como a distância mínima de 200 m de qualquer corpo hídrico (nascentes, rios, lagos, etc.), 500 m de núcleo populacional, declividade entre 1% e 20% do terreno, solo com características argilosas ou com alta taxa de impermeabilidade, não estando próximo a rodovias e não sendo áreas de preservação ambiental.

A base de dados para proposição da viabilidade locacional foi levantada conforme os critérios estabelecidos anteriormente, estando descrita na tabela 1. Com a base de dados foi adicionado então no programa ArcGis para modelar as áreas inaptas para a implantação do empreendimento.

Para realizar o cálculo do aterro, quanto sua área necessária para destinar os resíduos gerados no município de Criciúma, teve como base o Guia para o Projeto, Construção e Operação de Aterros Sanitários Manuais, de autoria de Jorge Jaramillo, adaptando alguns conceitos para um aterro industrial.

Devido uma ausência de inventário de resíduos perigosos em Santa Catarina e por consequência em Criciúma, foi utilizado o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, na etapa do Rio Grande do Sul, no ano de 2002, tendo como parâmetro os dados dos trinta principais municípios geradores de resíduos industriais perigosos, sendo adicionado os parâmetros de área, população e PIB industrial destes municípios, retirados do IBGE, no censo de 2000. Após a coleta e junção dos dados foi realizado uma regressão linear múltipla, utilizando uma variável dependente (resíduos perigosos gerados) e realizando uma correlação com as

variáveis independentes (área, população e PIB industrial), onde o resultado apontou uma maior coerência na relação da variável dependente com o PIB industrial do que com a área e a população, demonstrando que a estatística utilizada é plausível para um estudo sem dados primários. Assim foi feito uma prospecção de geração de resíduos para o ano de 2010, que era o último censo realizado pelo IBGE em relação a população, PIB e área, resultando num valor estatisticamente coerente. Ressaltando que se trata de uma estimativa somente, sendo que para se obter um dado real, deveria ser realizado um inventário de resíduos perigosos gerados no município de Criciúma/SC.

Tabela 1 – Base de dados da viabilidade locacional para aterro de resíduos perigosos no município de Criciúma/SC.

<b>BASE GEOESPACIAL DE DADOS CARTOGRÁFICOS</b>							
<b>Dados Coletados</b>	<b>Base/Fonte</b>	<b>Vetor</b>	<b>Raster</b>	<b>Tamanho da Célula</b>	<b>Datum</b>	<b>Ano</b>	<b>Sistema de Coordenadas</b>
Rodovias	Restituição Municipal	X			Sirgas 2000	2015	PLANA UTM Zone 22S
Solos	Plano Diretor Participativo IPAT	X			SAD69	2006	PLANA UTM Zone 22S
Recursos Hídricos	SigSC da SDS - Governo do Estado de Santa Catarina	X			Sirgas 2000	2010	PLANA UTM Zone 22S
Declividade	SigSC da SDS - Governo do Estado de Santa Catarina		X	1 m	Sirgas 2000	2010	PLANA UTM Zone 22S
Aeroporto	Fotointerpretação SigSC da SDS	X			Sirgas 2000	2010	PLANA UTM Zone 22S
Núcleos Populacionais	TCC Rafaela Bendo	X			Sirgas 2000	2012	PLANA UTM Zone 22S
Unidades de Conservação	Zoneamento Plano Diretor - Z_APA	X			Sirgas 2000	---	PLANA UTM Zone 22S

Fonte: Do Autor, 2015.

As técnicas utilizadas na concepção do projeto terá como base a ABNT NBR 10157/87 que trata sobre os critérios de projeto, construção e operação de aterros de resíduos perigosos, como também diversos estudos, dissertações, teses, normas, resoluções, diretrizes e leis pertinentes ao tema.

Aliado às técnicas utilizadas e a necessidade da região em dispor os resíduos perigosos em um local adequado e mais próximo ao centro gerador, será evidenciado a viabilidade econômica do projeto através do levantamento de valores utilizando como metodologia base o Estudo sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários, elaborado pela



Fundação Getúlio Vargas em parceria com a ABETRE (Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos), relacionando com o investimento inicial para a concepção do projeto, agregando os valores da obra, da mão de obra especializada, do pessoal e equipamento de apoio (motoristas, ajudantes, veículos de transporte, etc.), do licenciamento ambiental, dos insumos para a impermeabilização das células, do sistema de drenagem, da construção de uma ETE, da aquisição de terreno, do laboratório, das taxas e impostos, entre outros fatores preponderantes.

O valor foi estimado com base real de planilhas orçamentárias de empresa de construção civil do município de Criciúma, onde a mesma utiliza fontes como a TCPO (Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos), o CUB (Custo Unitário Básico de Construção) e principalmente os preços de fornecedores da empresa. Alguns valores de materiais e serviços foram estimados com base na própria planilha orçada pela FGV (Fundação Getúlio Vargas) e também retirados de algumas fontes como a tabela de honorários da SENGE/SC (Sindicato dos Engenheiros no Estado de Santa Catarina), o referencial de preço do DEINFRA (Departamento Estadual de Infraestrutura), empresa de sondagens da região e sites especializados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 VIABILIDADE LOCACIONAL

Através do programa ArcGIS foi processado dados de restrição de uso do solo para a implementação de um aterro de resíduos industriais perigosos no município de Criciúma/SC, onde o modelo apontou várias áreas aptas para a finalidade do empreendimento, mas somente uma possui uma dimensão suficiente de 5 ha necessário para a instalação, a área está localizada no bairro Verdinho (Área 4) ao sul do município, conforme Apêndice A.

Os parâmetros de restrição do uso do solo usados no programa de modelagem são os mesmos que estão descritos em critérios de localização para a construção de um aterro, sendo eles:

- Topografia: onde o programa excluiu todas as áreas que possuem uma declividade do terreno igual ou inferior a 1% e igual ou superior a 20%;
- Geologia e tipo de solos existentes: pela falta de dados vetoriais existentes deste tópico, foi determinado somente pelo tipo de solo que o programa indicou com os outros parâmetros restritivos, usando o mapa pedológico de Criciúma, desenvolvido pela UNESCO no ano de 2007. No mapa é possível visualizar que o local indicado pelo ArcGIS é um Cambissolo Háplico Alumínico Ta A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa Submontana, relevo ondulado e forte ondulado, (substrato Sedimentos Pelíticos), ainda conforme Zaroni e Santos (2015) os cambissolos são normalmente de baixa permeabilidade.
- Recursos hídricos: no polígono da área selecionada para o aterro encontra-se um corpo hídrico, aparentemente um açude de uma antiga cava de mineração de carvão, onde foi recuperada, distante aproximadamente 300 metros;
- Acessos: a área situa-se num local estratégico em relação aos acessos, podendo ter a entrada ligada a Rodovia Adilton de Medeiros a oeste e a Rodovia Governador Jorge Lacerda a leste da área em comento;
- Vida útil: o aterro foi projetado para uma vida útil de 20 anos, o dobro da recomendada pela ABNT NBR 10157/87;
- Distância de núcleos populacionais: o programa usou uma base de dados com um nível de detalhamento onde foram selecionadas indústrias, residências isoladas, estabelecimentos comerciais que restringiu muitas áreas que

podem ser consideradas aptas para a implantação de um aterro de resíduos perigosos, pois a norma preconiza uma distância mínima de 500 metros somente de núcleos populacionais, que segundo a ABNT NBR 10157 define como “localidades sem a categoria de sede administrativa, mas com moradias, geralmente em torno de igreja ou capela, com pequeno comércio.”

As alternativas locacionais foram apontadas através da modelagem dos mapas no programa ArcGis, onde a primeira resultou em uma área no bairro Vila Maria (Área 1), atrás de uma empresa cerâmica, mas que há alguns corpos hídricos (açudes) próximos e no local encontra-se o antigo leito do rio Quarta Linha, tornando-se uma alternativa possivelmente impreterível.

As outras duas áreas apontadas pelo modelo foi no bairro Linha Anta (Áreas 2 e 3) em meio a uma plantação agrícola, próximo a remanescentes florestais, inclusive de uma APA (Área de Proteção Ambiental), tendo também alguns afluentes do rio Linha Anta passando próximo as áreas, onde devido à declividade em alguns pontos apresentar uma alternância, seria necessário realizar serviços de terraplenagem, sendo necessário um estudo planialtimétrico mais detalhado para analisar sua viabilidade de implantação. Devido essas áreas apresentarem várias restrições e conseqüentemente possíveis conflitos com órgãos ambientais e comunidade, foi decidido descartar também essas áreas.

Essas três áreas estão destacadas no mapa de viabilidade locacional no apêndice A.

## 4.2 MÉTODO CONSTRUTIVO DO ATERRO DE RESÍDUOS PERIGOSOS

Tratou-se por escolher somente a concepção de um aterro industrial sem qualquer tratamento para dispor o resíduo perigoso, sendo que este tratamento deve ser realizado pela fonte geradora, caso necessite.

O primeiro passo para a concepção do aterro de resíduos perigosos é o projeto básico constando toda a metodologia de construção do aterro, onde inicialmente deve-se calcular a área do terreno necessária para sua implementação, posteriormente a área das células de disposição de resíduos e a infraestrutura de apoio.

Tabela 2 – Os 30 principais municípios do Rio Grande do Sul geradores de resíduos perigosos.

MUNICÍPIO	PIB Industrial (R\$ mil) <sup>a</sup>	Área (km <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	População (mil) <sup>a</sup>	Resíduos Perigosos (ton/mês) <sup>b</sup>
Estância Velha	189,89	52,38	37,35	16612,07
Novo Hamburgo	811,95	223,61	240,25	15608,06
Portão	298,17	159,94	26,12	15294,32
Encantado	93,88	139,16	19,18	12404,34
Caxias do Sul	1794,72	1643,91	380,31	10577,51
Ivoti	87,21	63,14	16,45	8315,09
Charqueadas	166,09	216,51	31,43	7655,83
Sapucaia do Sul	443,42	58,64	126,40	7287,65
Triunfo	1879,11	823,42	23,11	6174,57
Arroio do Meio	142,92	157,96	17,54	5567,44
Turuçu	18,77	254,93	3,73	5102,92
Muçum	6,20	110,89	4,80	4670,43
Canoas	1916,63	131,10	315,36	4502,38
Gravataí	1060,36	463,76	240,86	4370,20
Taquari	96,70	349,97	26,26	4259,45
Getúlio Vargas	15,80	286,56	16,73	4079,12
Lindolfo Collor	42,07	33,06	4,62	3889,97
Dois Irmãos	198,08	65,16	23,75	3164,66
Porto Alegre	2349,97	496,83	1394,91	2706,77
Tapera	15,71	179,63	10,69	2684,49
Alvorada	76,74	70,81	190,22	2432,88
Parobé	196,43	109,03	46,69	2307,15
São Leopoldo	405,72	102,31	201,07	2209,41
Picada Café	27,74	85,09	4,83	2140,90
Nova Esperança do Sul	46,23	191,39	4,19	1902,08
Roca Sales	47,72	208,49	9,55	1678,68
Cambará do Sul	19,74	1212,53	6,97	1625,85
Lajeado	222,81	90,42	62,95	1604,63
Bom Retiro do Sul	29,47	102,33	11,07	1576,90
Teutônia	197,13	179,17	22,61	1537,18

Fonte: IBGE 2015<sup>a</sup> e SILVA 2002<sup>b</sup>.

Após a obtenção dos dados acima foi inserido no programa Excel e realizado uma regressão com todos os valores, resultando na fórmula abaixo:

$$\text{Resíduos Perigosos (ton)} = 5157,25 + (\text{PIB Industrial} * 2,43) - (\text{Área Municipal} * 0,64) - (\text{População Municipal} * 4,79)$$

Para estimar a quantidade de resíduos perigosos em toneladas no município de Criciúma foi utilizado os dados do IBGE (2015) no censo de 2000 para os parâmetros de Produto Interno Bruto (PIB) industrial, área e população, onde resultou no valor de resíduos perigosos estimados, conforme tabela seguinte.

Tabela 3 – Dados do município de Criciúma/SC no censo de 2000 com o resultado da regressão linear múltipla indicando a possível geração de resíduos perigosos.

MUNICÍPIO	PIB Industrial (R\$ mil) <sup>a</sup>	Área (km <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	População (mil) <sup>a</sup>	Resíduos Perigosos (ton/mês) <sup>b</sup>
Criciúma 2000	404,67	235,70	170,42	7109,53

Fonte: IBGE 2015<sup>a</sup> e SILVA 2002<sup>b</sup>.

A infraestrutura de apoio do aterro terá uma guarita na entrada do empreendimento, uma balança para analisar o peso dos resíduos contido nos caminhões terceirizados juntamente com uma guarita, uma instalação para a área de administração e laboratório com vestiários masculino e feminino, um galpão para o armazenamento temporário de resíduos perigosos, uma instalação para vestiários dos colaboradores acoplado a garagem para o caminhão, retroescavadeira e rolo compactador e a estação de tratamento de efluentes.

Para dimensionar a área necessária para a implementação do aterro industrial de resíduos perigosos em Criciúma foi utilizada as equações a seguir:

$$V_{dr} = \frac{MRa}{Dr}$$

$$V_{dr} = \frac{19749 \text{ kg/dia}}{500 \text{ kg/m}^3} = 39,5 \text{ m}^3/\text{dia}$$

e

$$Var = V_{dr} \times 365$$

$$Var = 39,5 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 365 = 14416,547 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Onde a massa de resíduos a aterrar de 19749 kg/dia foi obtido através de uma regressão linear múltipla amostrada na tabela 3 indicando um valor de 7109,53 toneladas de resíduos por ano, convertendo para dias como pede o guia do Jaramillo (1991) resultou em 19,749 toneladas, ou seja, 19749 kg por dia de

resíduos gerados no município (estimativa). Já a densidade do resíduo segundo Jaramillo (1991), pode ser definida entre 400 e 500 kg/m<sup>3</sup> para resíduo domiciliar, sendo adotado a maior densidade por se tratar de resíduo sem matéria orgânica que diminui o volume da célula e possuir resíduos de plástico, papelão, sucata, entre outros que segundo o autor são dificilmente compactáveis.

Após mensurar a quantidade de resíduos perigosos gerados num ano, obtém-se o volume anual do aterro através da equação:

$$V_{ta} = Var \times Fmc$$

$$V_{ta} = 14416,547 \frac{m^3}{ano} \times 1,25 = 18020,7 \frac{m^3}{ano}$$

Agora para conhecer o volume total do aterro durante sua vida útil, expoem-se a equação seguinte:

$$V_{Avu} = \sum_{1}^{20 \text{ anos}} 18020,7 \frac{m^3}{ano} = 360413,7 \frac{m^3}{ano}$$

Com a equação anterior podemos calcular a área do terreno necessária para a construção do aterro industrial, que se dará com a equação a seguir:

$$Aa = \frac{V_{Avu}}{Hm}$$

$$Aa = \frac{360413,7 \frac{m^3}{ano}}{10 \text{ m}} = 36041,37 \frac{m^2}{ano}$$

Somando com sua infraestrutura básica, a área total do empreendimento fica expressa na equação:

$$Ata = Aa \times F_{inf}$$

$$Ata = 36041,37 \frac{m^2}{ano} \times 1,4 = 50458 \frac{m^2}{ano}$$

Sendo assim, para se instalar um aterro industrial no município de Criciúma é necessário uma área de aproximadamente 5 hectares, onde o espaço

seria preenchido com a célula de resíduos, escritório, balança, duas guaritas, vias internas, instalações sanitárias, garagem e estação de tratamento de efluente.

Para calcular a área da célula diária necessária para confinar os resíduos, deve-se seguir as seguintes equações:

$$MRa = Mtr \times \frac{7}{5}$$

$$19749 \text{ kg/dia} = Mtr \times \frac{7}{5} = 14106,43 \text{ kg/dia}$$

e

$$Vc = \frac{MRa}{Dr} \times Fmc$$

$$Vc = \frac{19749 \text{ kg/dia}}{500 \text{ kg/m}^3} \times 1,25 = 49,3725 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Com o volume da célula diária, pode-se conhecer a área da célula com a equação:

$$Ac = \frac{Vc}{hc}$$

$$Ac = \frac{49,3725 \text{ m}^3/\text{dia}}{2 \text{ m}} = 24,7 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Sendo que o comprimento da célula obtém-se através da equação abaixo:

$$Cc = \frac{Ac}{a}$$

$$Cc = \frac{24,7 \text{ m}^2}{5 \text{ m}} = 4,94 \text{ m}$$

E para se saber a área da célula juntamente com sua cobertura de solo, soluciona-se com a equação seguinte:

$$a = Cc = \sqrt{Ac}$$

$$a = Cc = \sqrt{24,7 \text{ m}^2} = 4,97 \text{ m}^2$$

Sendo assim, chega-se a uma conclusão de 30 m<sup>2</sup> de área necessária para construção de uma célula diária.

O aterro está planejado para 20 anos, numa única célula de 180 m de largura por 200 m de comprimento e 10 m de altura, resultando numa área de disposição de resíduos de 3,6 ha, onde foi possível calcular 5.412 células diárias, ou seja, 5.412 dias úteis de operação no aterro, sendo 132 células/dias a mais que o necessário como forma de segurança para qualquer imprevisto que possa acontecer. Isso resulta num acréscimo de 2.606.868 kg ou 6.517,17 m<sup>3</sup> de resíduos dispostos no aterro.

Na planta em apêndice está visível a cobertura metálica sobreposto a área de disposição, evitando as intempéries naturais, conseqüentemente diminuindo a drenagem superficial do aterro.

O método de operação será de uma célula inicialmente, onde esta após realizada a terraplenagem, receberá um incremento de argila compactada e uma sucessão de mantas protetoras de PEAD (polietileno de alta densidade) de 2 mm, uma camada base de GCL (manta bentonítica geossintética), camadas de areia entre as mantas de PEAD, uma camada de geocomposto drenante e uma camada de "sacrifício" de BIDIM (geotêxtil não tecido 100% poliéster). Sendo que essa impermeabilização deverá alcançar um coeficiente de permeabilidade de no máximo  $1,0 \times 10^{-7}$  cm/s, totalizando uma camada de no mínimo 60 cm de espessura.

Logo após o sistema duplo de impermeabilização será instalado os tubos de PEAD (polietileno de alta densidade) em formato de “espinha de peixe” com declividade baixa (entre 1% e 2%) e drenos cegos de PEAD com brita nº 1 e nº 2 para compor o sistema de drenagem do percolado na célula, onde será encaminhado para a ETE (estação de tratamento de efluente) para o tratamento. O efluente tratado será reutilizado no aterro para limpeza de veículos, umidificação de vias, entre outros.

As células diárias serão preenchidas ordenadamente com o objetivo de cumprir o planejamento da célula total, onde preenchido completamente será



realizado a impermeabilização superior com argila compactada com 50 cm de espessura, manta PEAD e um camada de geocomposto drenante de 25 cm de espessura, tendo seu coeficiente de permeabilidade maior ou igual a  $1,0 \times 10^{-3}$  cm/s, por fim será recoberto com solo de 60 cm de espessura e vegetação nativa (gramíneas).

Com o método construtivo definido foi desenvolvido um vídeo no programa SketchUp demonstrando uma prévia de como seria o aterro de resíduos perigosos, segue abaixo as imagens:

Figura 2 – Guarita de entrada do aterro de resíduos perigosos.



Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 3 – Administração, laboratório e vestiário.



Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 4 – Balança rodoviária e guarita do balanceiro (pesagem).



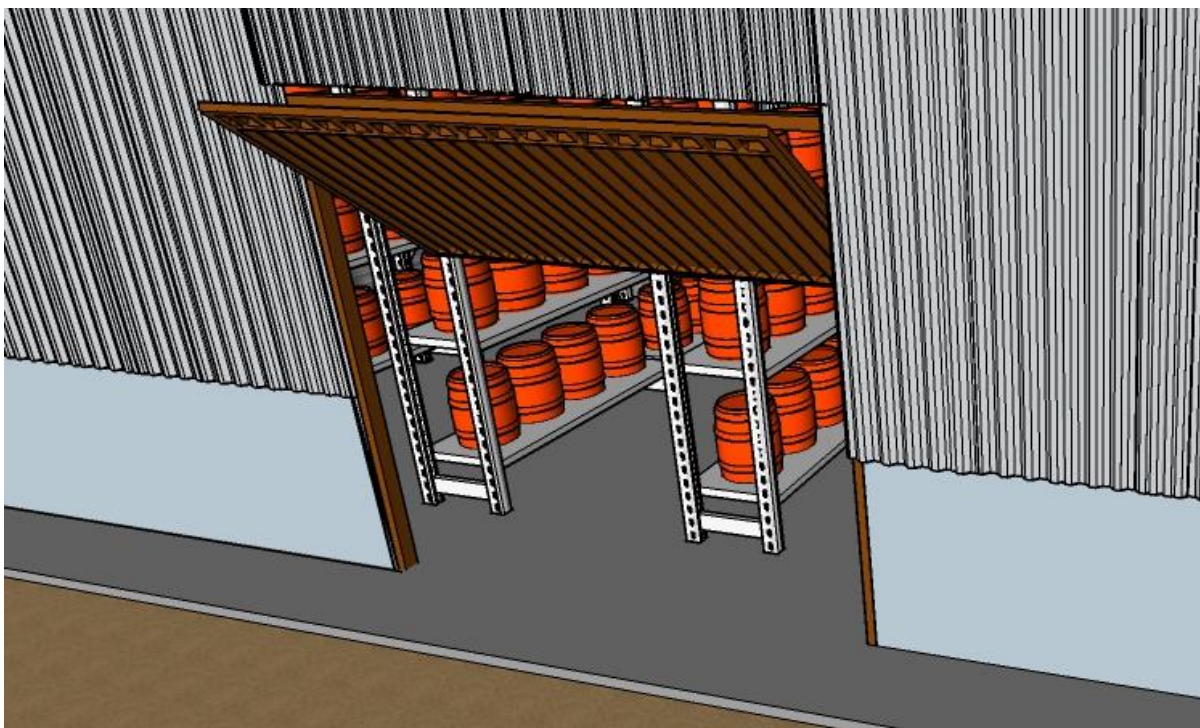
Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 5 – Armazenamento temporário de resíduos perigosos.



Fonte: Do Autor, 2015.

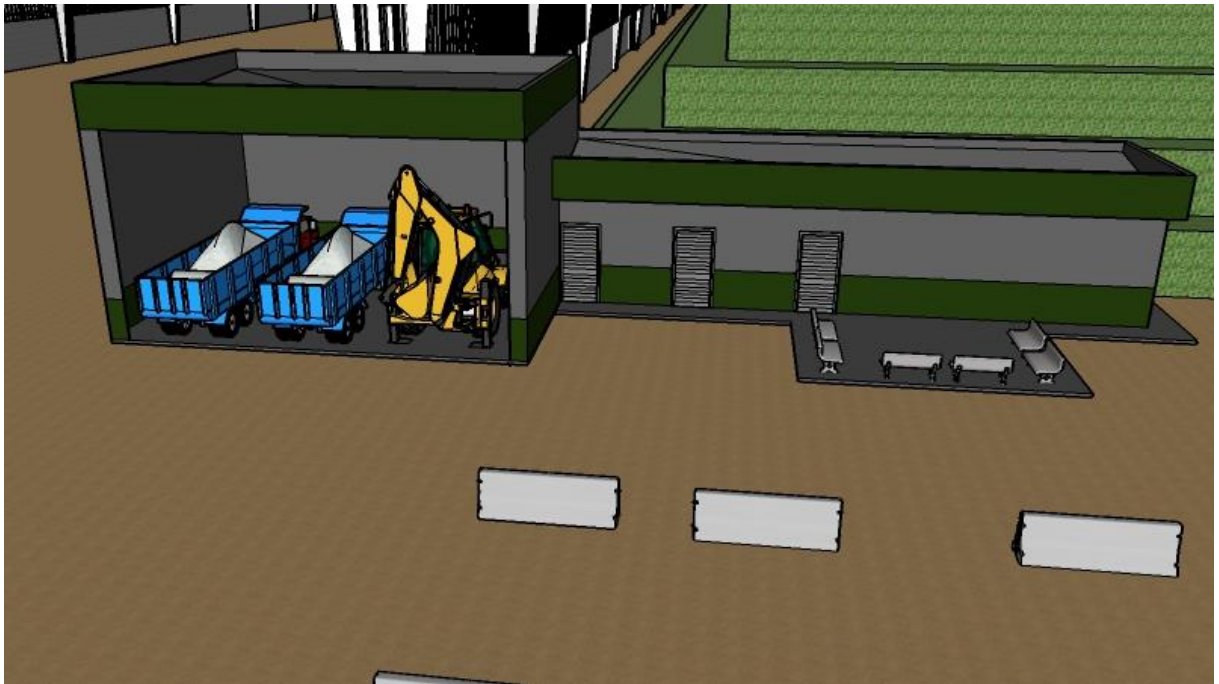
Figura 6 – Galões de PEAD para armazenamento de resíduos perigosos.



Fonte: Do Autor, 2015.

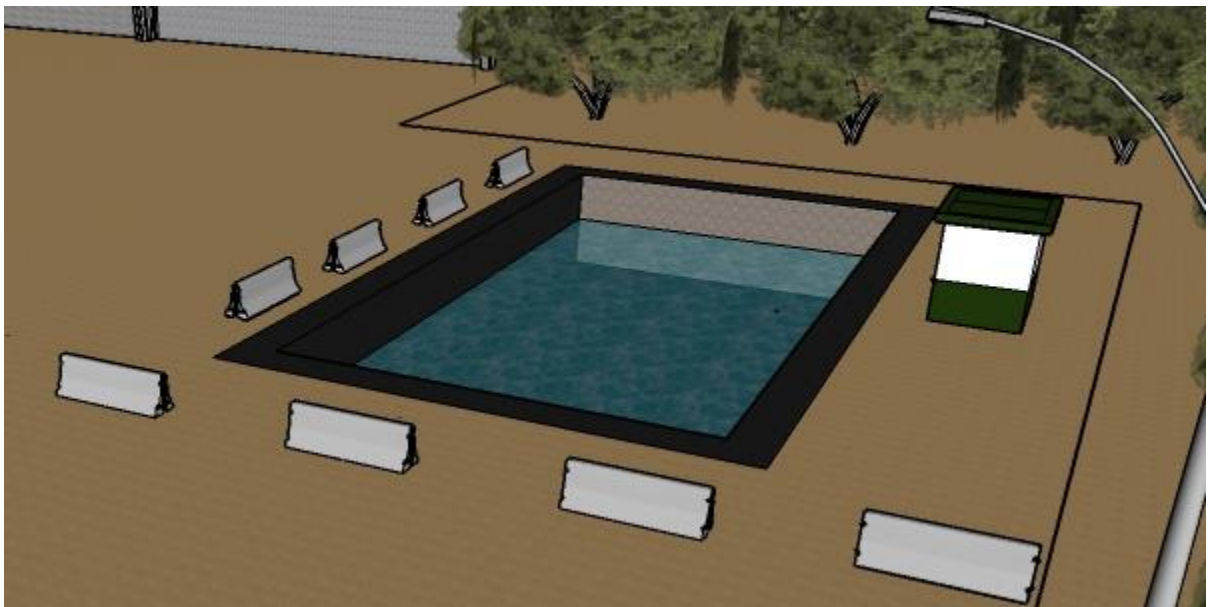


Figura 7 – Garagem dos equipamentos pesados, vestiário dos colaboradores e área de lazer.



Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 8 – Estação de tratamento de efluentes (percolado) com a casa de máquinas.



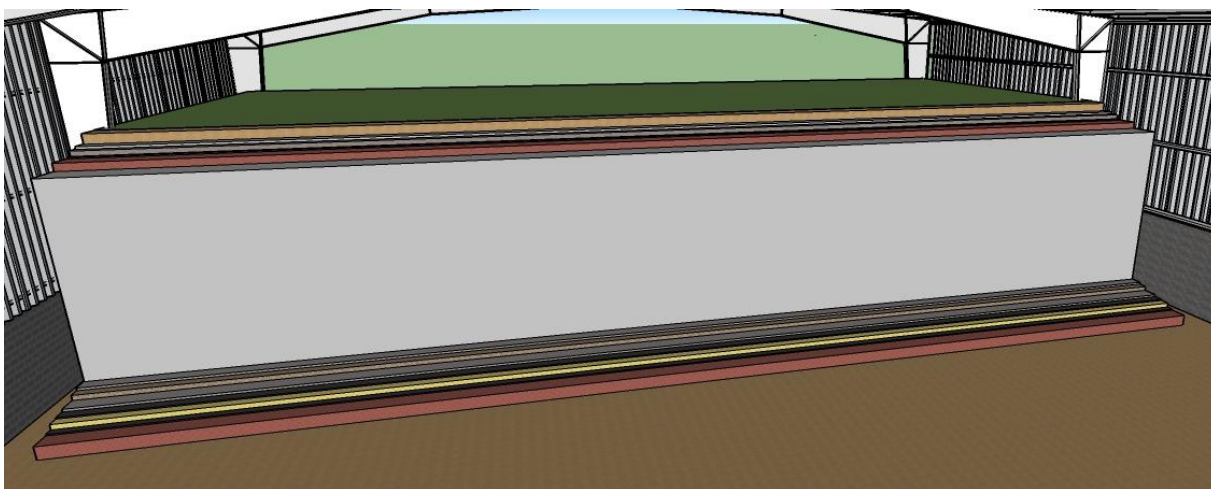
Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 9 – Célula de disposição de resíduos encerrada.



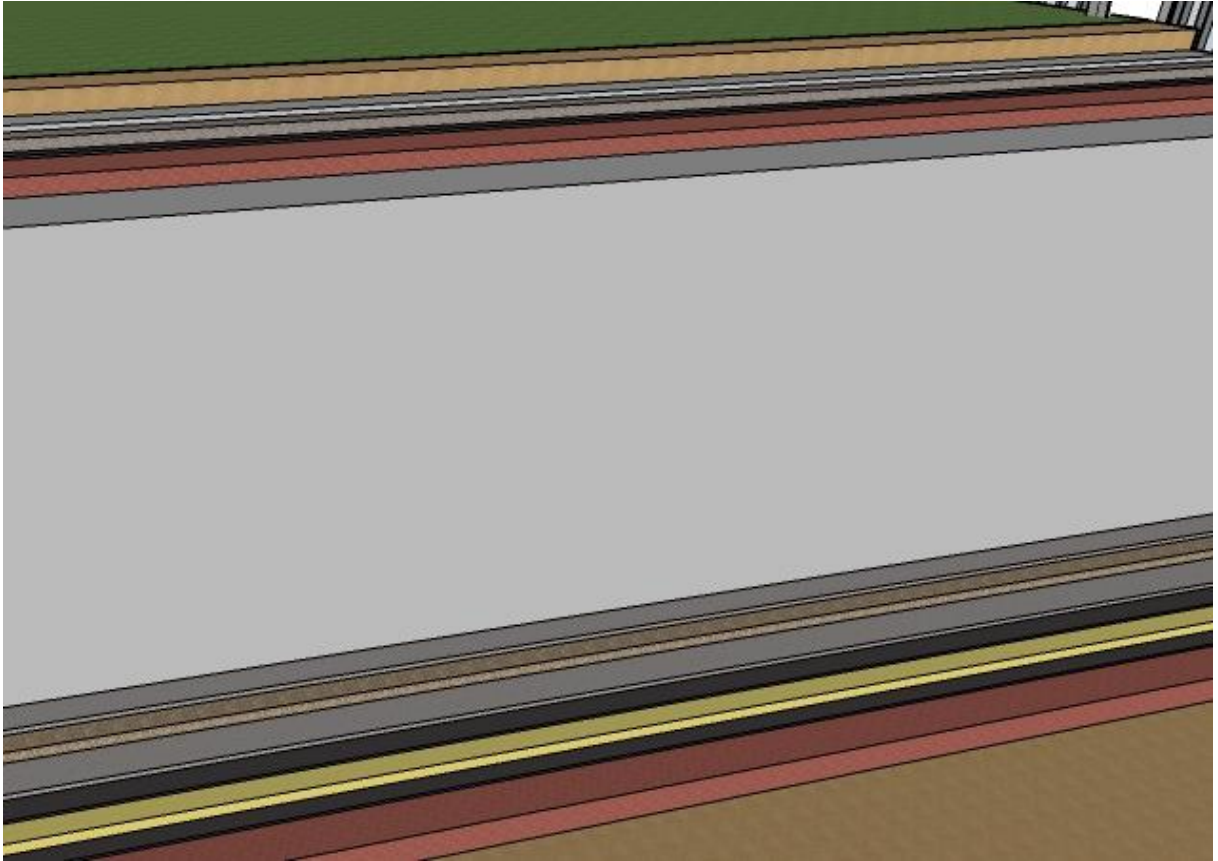
Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 10 – Perfil da célula de disposição de resíduos.



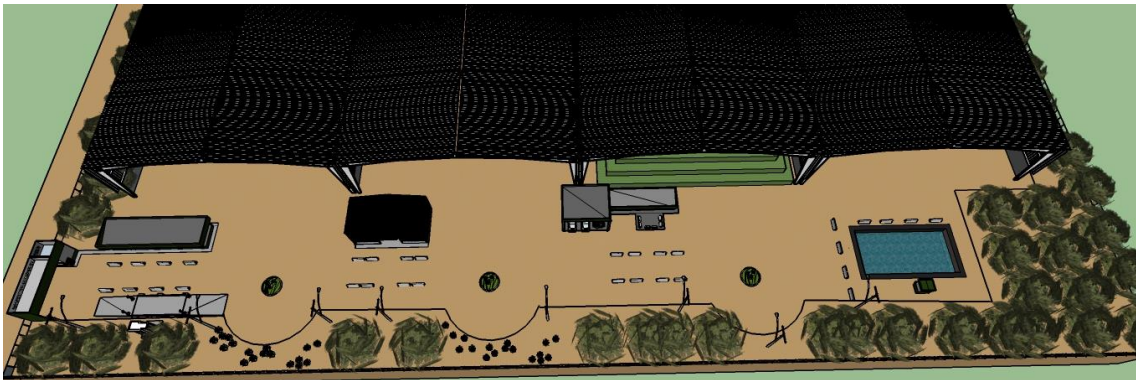
Fonte: Do Autor, 2015.

Figura 11 – Perfil detalhado da célula de disposição de resíduos.



Fonte: Do Autor, 2015.

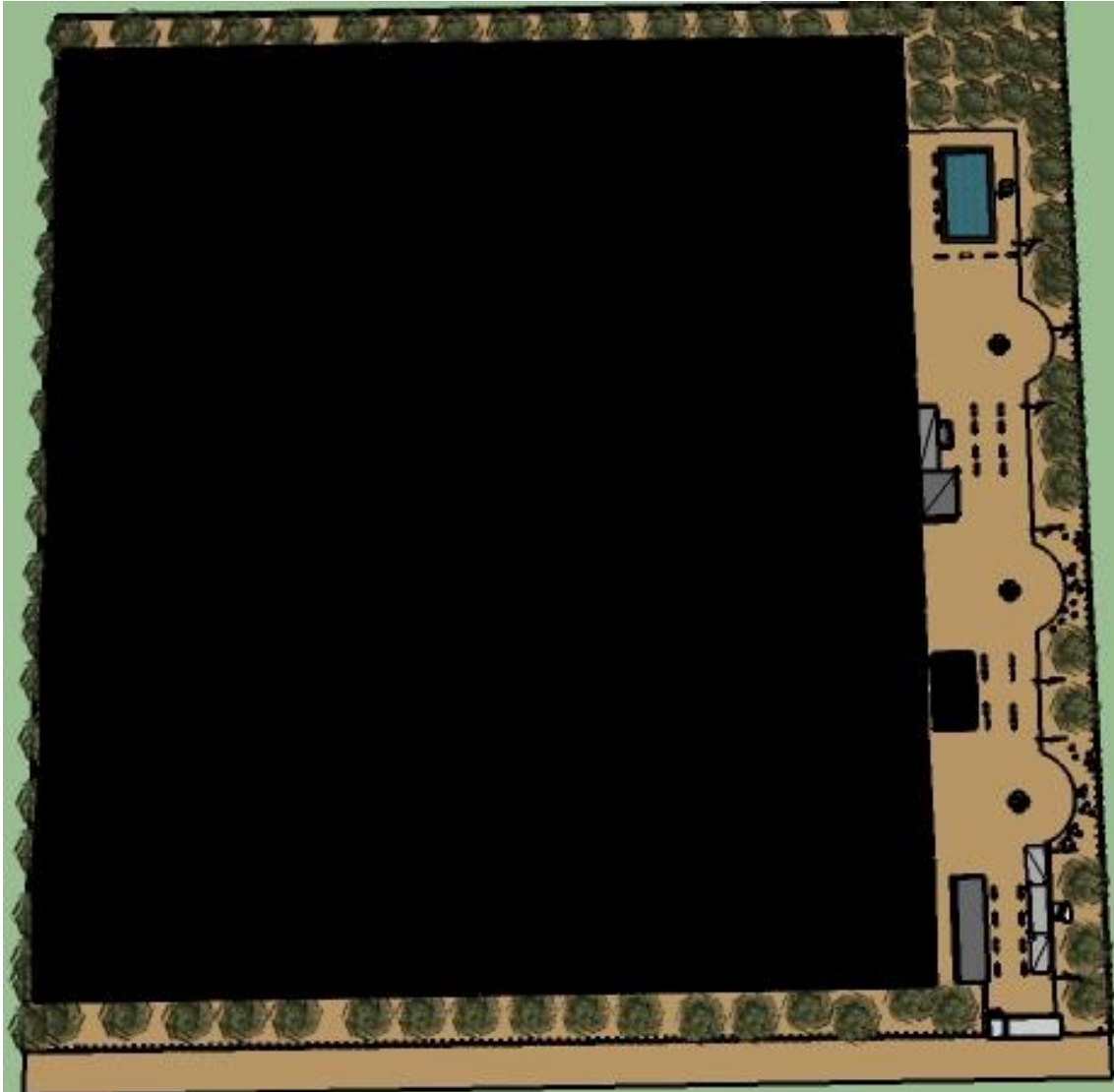
Figura 12 – Vista geral da infraestrutura do aterro de resíduos perigosos.



Fonte: Do Autor, 2015.



Figura 13 – Vista panorâmica do aterro de resíduos perigosos.



Fonte: Do Autor, 2015.

#### 4.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a construção do aterro de resíduos industriais perigosos foram elaboradas três planilhas de estimativa de custos (apêndices C, D e E) para levantamento de dados financeiros contendo as premissas, a pré-implantação e a implantação, onde o custo total de investimento inicial foi de R\$ 3.686.323,08, sendo que a pré-implantação foi de R\$ 1.324.879,27 e a implantação de R\$ 2.361.443,81.

O custo médio por tonelada de resíduo disposto no aterro levando em consideração somente as fases de pré-implantação e implantação custaria R\$ 25,25,

ressaltando que para se obter o custo total da tonelada de resíduo deve-se realizar o levantamento do custo de operação, encerramento e pós-encerramento do aterro.

Segundo Schimanko Junior, Stroparo e Pes (2015) o valor cobrado para destinar um resíduo perigoso tanto líquido quanto sólido é de R\$ 0,50 por litro ou quilograma respectivamente, a tonelada então sairia R\$ 500,00, supondo que a metade do valor seria descontado do transporte, encargos e outros, sobraria R\$ 250,00 para o aterro. Fazendo um balanço hipotético o aterro teria de entrada no caixa até o final da sua vida útil R\$ 36.500.000,00.



## 5 CONCLUSÃO

Em virtude do estudo realizado durante este trabalho com base nos dados estimados de 20 toneladas de resíduos perigosos gerados por dia, considerando que o município de Criciúma e os demais municípios da AMREC, bem como os municípios da AMUREL (Associação de Municípios da Região de Laguna) e da AMESC (Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense) não possuem um local de destinação de resíduos ambientalmente adequado, a viabilidade locacional torna-se então uma possibilidade para que através de um inventário de resíduos perigosos na região sul de Santa Catarina possa demonstrar com exatidão uma demanda significativa para realização deste empreendimento.

Através da base de dados estruturados neste estudo juntamente com a base de dados disponíveis na NBR 10157 (ABNT, 1987), foi possível definir uma área apta com os parâmetros adotados, sendo localizada no bairro Verdinho, Criciúma/SC.

O método construtivo de um aterro de resíduos perigosos demonstrou no estudo ser aplicável na prática, mas que deve ser melhor adaptado para a realidade do terreno definido por estudos geotécnicos e planialtimétricos, bem como avaliar se a área necessária para a implementação do empreendimento é compatível com o memorial de cálculo e descritivo a ser realizado por profissional da Engenharia Civil.

A proposta então findou-se num levantamento de custo para a implementação do aterro, contemplando a pré-implantação e implantação do empreendimento, resultando numa demonstração do valor de investimento inicial de R\$ 3.686.323,08.

Sendo assim, indica-se a possibilidade em futuros trabalhos dentro deste campo de estudo, a realização de um inventário de resíduos perigosos no município de Criciúma e região, bem como a continuação do estudo de viabilidade econômico contemplando a operação, encerramento e pós-encerramento do aterro de resíduos perigosos. Outra indicação importante e necessária seria realizar um comparativo na relação custo-benefício de implementação de uma usina de plasma térmico com o aterro contemplando desde a pré-implantação até o pós-encerramento afim de averiguar a viabilidade de uma alternativa tecnológica para tratamento de resíduos perigosos.

## REFERÊNCIAS

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8418**: Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos. Rio de Janeiro, 1983.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8849**: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação e conceito. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10157**: Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987.
- ABRELPE: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, 2015.
- ALVES, W.; COSTA, A. J. M. P. da; LEITE, J. V.; URENHA, L. C.. Disposição Final do Lixo. In: Maria Luiza Otero D'Almeida; André Vilhena. (Org.). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas / Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2000, p. 311.
- AMREC: Associação dos municípios da região carbonífera. **Histórico**. Criciúma, 2015. Disponível em: <[www.amrec.com.br](http://www.amrec.com.br)>. Acesso em: 07 out. 2015.
- BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; CAIXETA-FILHO, José Vicente. **Logística ambiental de resíduos sólidos**. São Paulo: Atlas, 2011.
- BEZEN, Gina Rizpah. Legislação Brasileira In: Instituto Socioambiental. **Almanaque Brasil Socioambiental**. 2. ed. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008. p. 403.
- BRASIL. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. "**Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**". Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acesso em: 13 ago. 2015.
- BRASIL. Lei 7.347, de 24 de julho de 1985. "**Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio-ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (VETADO) e dá outras providências**". Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/CCIVIL\\_03/leis/L7347orig.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/leis/L7347orig.htm)>. Acesso em: 13 ago. 2015.
- BRASIL, Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 2005. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 13 ago. 2015.
- BRASIL. Lei 7.735, de 22 de fevereiro de 1989. "**Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis e dá outras providências**". Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L7735.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7735.htm)>. Acesso em: 13 ago. 2015.
- BRASIL. Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. "**Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**". Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm)>. Acesso em: 12 ago. 2015.
- BRASIL. Lei 10.257, de 10 de julho de 2001. "**Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá**

**outras providências".** Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm)>. Acesso em: 13 ago. 2015.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a política nacional dos resíduos sólidos.** Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em:

<[www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007/l12305.htm)>. Acesso em: 12 ago. 2015.

CAMPOS, Cesar Cunha. **Estudo sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários.** São Paulo: FGV, 2008. 56 p.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água:** prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 494 p.

CHAVES, Lázaro Curvêlo. **A Revolução Industrial.** 2014. Disponível em:

<<http://www.culturabrasil.org/revolucaoindustrial.htm>>. Acesso em: 26 ago. 2015.

CIMM – Centro de Informação Metal Mecânica. **Resíduos sólidos industriais.**

2004. Disponível em: <[www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/3668-residuos-solidos-industriais](http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3668-residuos-solidos-industriais)>. Acesso em: 15 set. 2015.

CONSONI, A. J. ; SILVA, I. C. ; GIMENEZ FILHO, A. . Disposição Final do Lixo. In: Maria Luiza Otero D'Almeida; André Vilhena. (Org.). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 2ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas / Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2000, p. 251-291.

CRICIÚMA (SC). Lei nº 2.508/90, de 27 de dezembro de 1990. **Dispõe sobre a recuperação de áreas de terras degradadas do município de Criciúma e dá outras providências.** Criciúma, SC, 27 dez. 1990. Disponível em:

<<http://www.camaracriciuma.sc.gov.br/documento/lei-no-2508-1990-2400>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CRICIÚMA (SC). Lei nº 2.974/94, de 30 de agosto de 1994. **Dispõe sobre a legislação ambiental do município de Criciúma e dá outras providências.**

Criciúma, SC, 30 ago. 1994. Disponível em:

<<http://www.camaracriciuma.sc.gov.br/documento/lei-no-2974-1994-2866>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CRICIÚMA (SC). Lei nº 3.900/99, de 28 de outubro de 1999. **Institui a lei do zoneamento de uso do solo do município de Criciúma e dá outras providências (Plano Diretor).** Criciúma, SC, 28 out. 1999. Disponível em:

<<http://www.camaracriciuma.sc.gov.br/documento/lei-no-3900-3792>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CRICIÚMA (SC). Lei nº 3.901/99, de 28 de outubro de 1999. **Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.** Criciúma, SC, 28 out. 1999. Disponível em:

<<http://www.camaracriciuma.sc.gov.br/documento/lei-no-3901-8171>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CRICIÚMA (SC). Lei nº 3.948/99, de 28 de dezembro de 1999. **Dispõe sobre a recepção de resíduos sólidos potencialmente perigosos à saúde e ao meio ambiente.** Criciúma, SC, 28 dez. 1999. Disponível em:

<<http://www.camaracriciuma.sc.gov.br/documento/lei-no-3948-1999-3840>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CRICIÚMA (SC). Lei nº 4.400/02, de 18 de outubro de 2002. **Dispõe sobre a política de proteção do controle da conservação do meio ambiente e da melhoria da qualidade de vida no município de Criciúma.** Criciúma, SC, 18 out. 2002. Disponível em:

<<http://www.camaracriciuma.sc.gov.br/documento/lei-no-4400-2002-4292>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

CRICIÚMA (SC). Lei nº 4.502/03, de 01 de julho de 2003. **Declara área de proteção**

- ambiental, e dá outras providências.** Criciúma, SC, 01 jul. 2003. Disponível em: <<http://www.camaracriciúma.sc.gov.br/documento/lei-no-4502-2003-4394>>. Acesso em: 20 ago. 2015.
- CRICIÚMA (SC). Lei nº 4.924/06, de 24 de julho de 2006. **Proíbe a instalação de incineradores que se baseiem em tecnologias de combustão para tratamento final de resíduos de serviços de saúde e resíduos industriais perigosos ou tóxicos e também a queima de resíduos a céu aberto.** Criciúma, SC, 24 jul. 2006. Disponível em: <<http://www.camaracriciúma.sc.gov.br/documento/lei-no-4924-2006-4816>>. Acesso em: 20 ago. 2015.
- CRICIÚMA (SC). Lei nº 5.849/11, de 04 de julho de 2011. **Disciplina o corte de árvores no Município de Criciúma, e dá outras providências.** Criciúma, SC, 04 jul. 2011. Disponível em: <<http://www.camaracriciúma.sc.gov.br/documento/lei-no-5849-2011-13553>>. Acesso em: 20 ago. 2015.
- FACÓ, João Lauro Dorneles. Otimização de um sistema de plasma térmico para destruição de resíduos industriais tóxicos. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2004, São João del-Rei. **Anais eletrônicos.** São João del-Rei: SBPO, 2004. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2004/pdf/arq0024.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2015.
- FURLAN, Walter. **Modelo de decisão para escolha de tecnologia para o tratamento de resíduos sólidos no âmbito de um município.** 2007. 240 p. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.
- GODOY, Paulo Henrique de. **Plasma térmico para recuperação de insumos de valor em escórias e resíduos.** 2001. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- GRIPPI, Sidney. **Lixo, reciclagem e sua história: guia para as prefeituras brasileiras.** Rio de Janeiro: Interciências, 2001.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Org.). **Informações completas de Criciúma.** 2015. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/233BH>>. Acesso em: 26 ago. 2015.
- JARAMILLO, Jorge. **Resíduos sólidos municipais: guia para o projeto, construção e operação de aterros sanitários manuais.** 1991. Washington: OPAS, 2000.
- KRUGEL, Flávia. **Estudo da concentração do percolado de aterro industrial por evaporação visando à redução da carga poluidora.** 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- LIMA, José Dantas de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** [S. L.]: ABES, [19--]. 267 p.
- MAROUN, Christianne Arraes. **Manual de Gerenciamento de Resíduos: Guia de procedimento passo a passo.** 2. ed. Rio de Janeiro: GMA, 2006. 27p.
- MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.
- MOTA, Suetônio. **Introdução à engenharia ambiental.** Rio de Janeiro: ABES, 1997. 280 p.
- NAIME, Roberto. **Gestão de resíduos sólidos: uma abordagem prática.** Novo Hamburgo, RS: FEEVALE, 2005. 164 p.
- PINTO, Débora Pereira de Sousa. **Contribuição à Avaliação de Aterros de Resíduos Industriais.** 2011. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2011.

SANTA CATARINA. Decreto nº 662, de 30 de julho de 1975. **Institui a Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio-Ambiente (FATMA), e dá outras providências.**

Florianópolis, SC, 30 jul. 1975. Disponível em:

<<http://server03.pge.sc.gov.br/LegislacaoEstadual/1975/000662-005-0-1975-000.htm>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

SANTA CATARINA. Lei nº 13.517, de 04 de outubro de 2005. **Dispõe sobre a Política Estadual de Saneamento e estabelece outras providências.**

Florianópolis, SC, 04 out. 2005. Disponível em:

<[http://200.192.66.20/alesc/docs/2005/13517\\_2005\\_lei.doc](http://200.192.66.20/alesc/docs/2005/13517_2005_lei.doc)>. Acesso em: 14 ago. 2015.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009. **Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.** Florianópolis, SC, 04 out. 2005. Disponível em:

<[http://agenciaal.alesc.sc.gov.br/images/uploads/fotonoticia/14675\\_2009\\_lei.docx](http://agenciaal.alesc.sc.gov.br/images/uploads/fotonoticia/14675_2009_lei.docx)>. Acesso em: 14 ago. 2015.

SCHIMANKO JUNIOR, Vagnei Dalmarco; STROPARO, Telma Regina; PES, Anielle. Logística Reversa de Resíduos Perigosos: uma análise sob a égide da Responsabilidade Ambiental Empresarial. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO, 2015, Ponta Grossa. **Anais eletrônicos...** Ponta Grossa:UEPG, 2015. Disponível em: <<http://www.admpg.com.br/2015/down.php?id=1489&q=1>>. Acesso em: 16 nov. 2015.

SILVA, Renato das Chagas e. **Inventário nacional de resíduos sólidos industriais – Etapa – Rio Grande do Sul.** FEPAM: Porto Alegre, 2002, p. 22.

SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa.** 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SOUZA, Mayra Ferrari de. **Tratamento de resíduos sólidos urbanos com recuperação energético por meio da tecnologia de plasma – Estudo de caso para a região de Taubaté – SP.** 2014. 33 f. Monografia (Especialização) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

TOCHETTO, Marta Regina Lopes. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais.** 2005. Curso de Química Industrial, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VALLE, Raul Silva Telles do. Legislação Brasileira In: Instituto Socioambiental. **Almanaque Brasil Socioambiental.** 2. ed. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2008. p. 481-487.

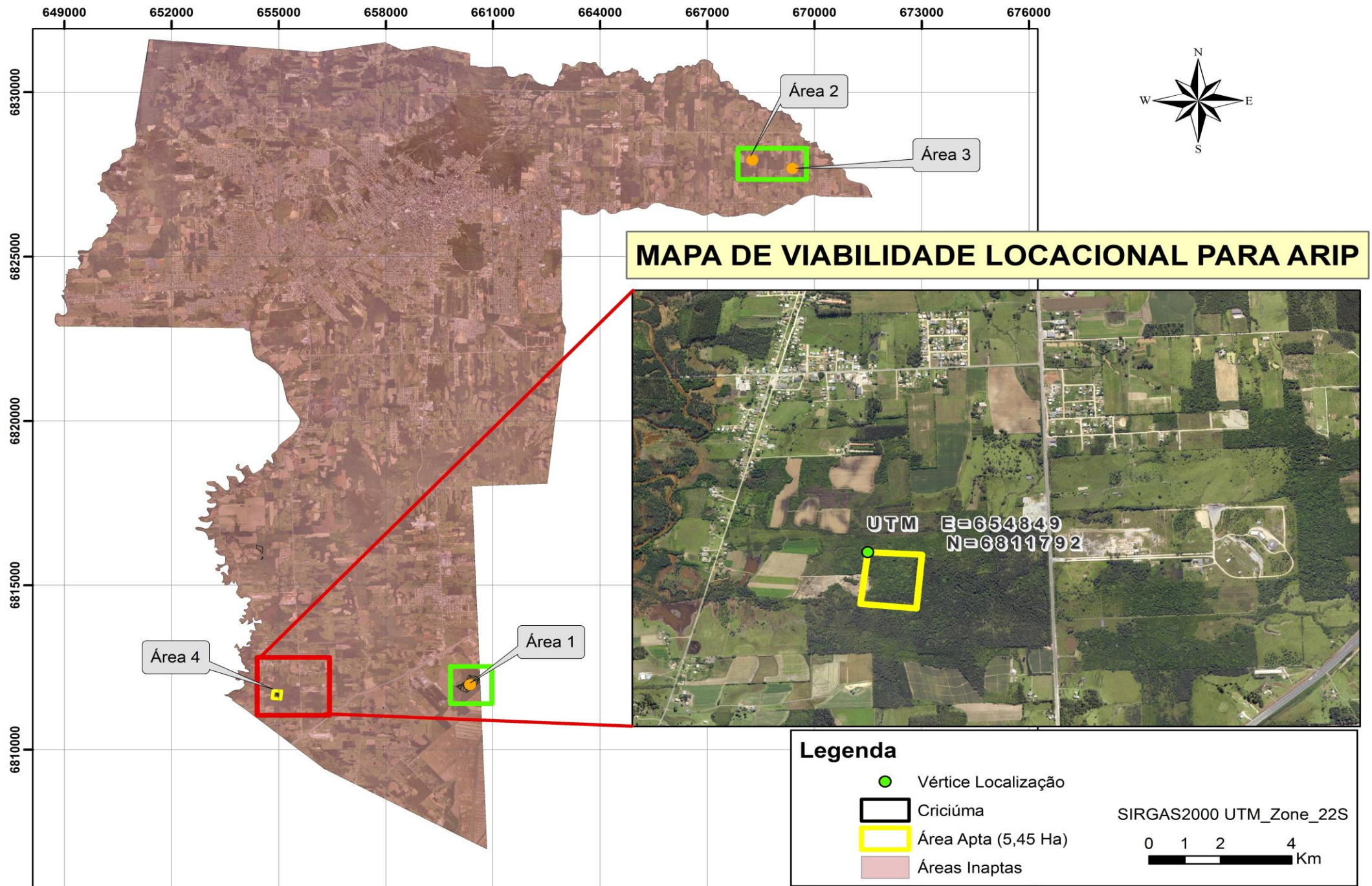
ZARONI, Maria José; SANTOS, Humberto Gonçalves dos. **Cambissolos – Definição e características gerais.** Disponível em:

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_8\\_2212200611538.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_8_2212200611538.html)>. Acesso em: 17 nov. 2015.

## **APÊNDICES**

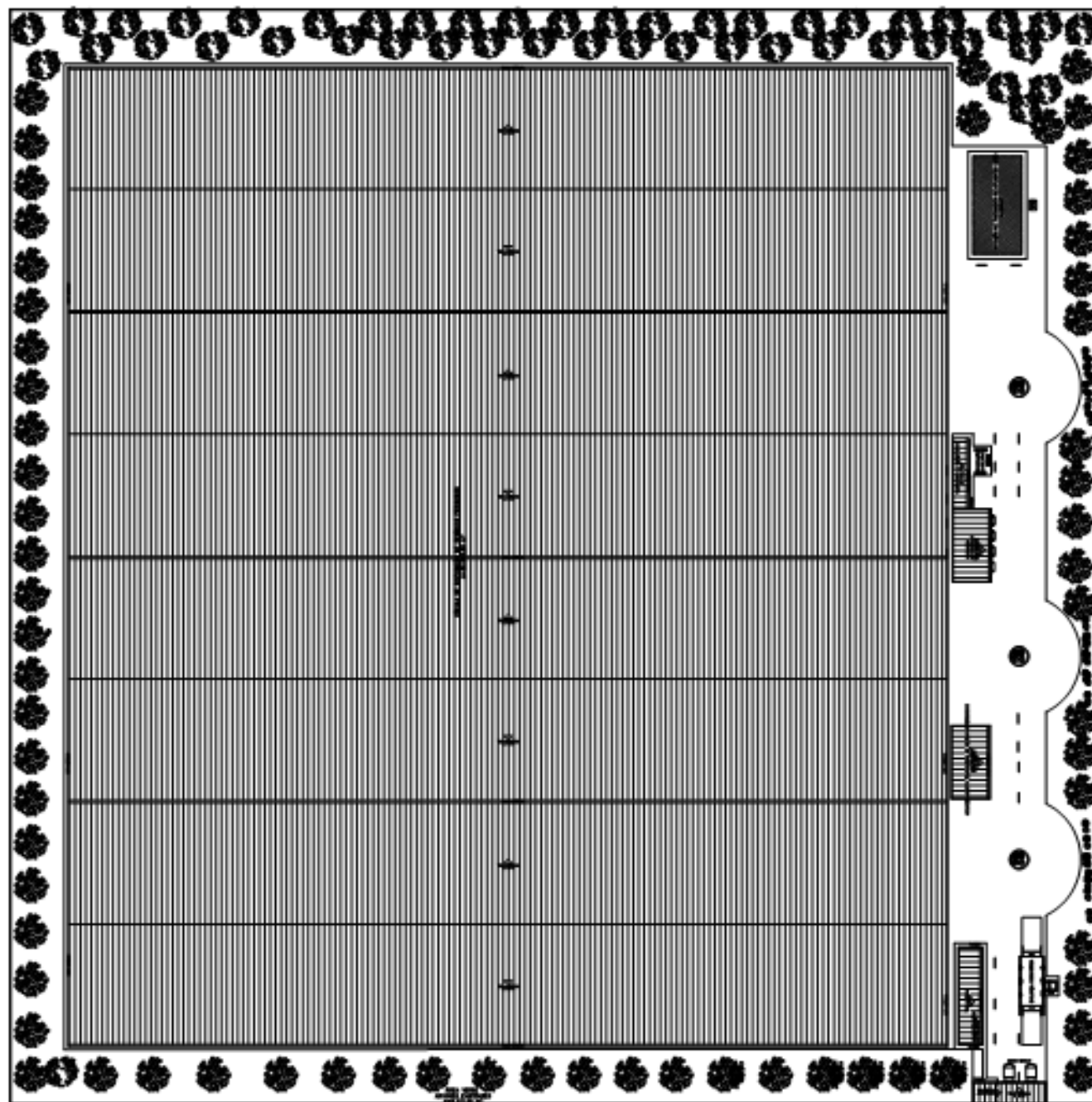
## **APÊNDICE A – Mapa de Viabilidade Locacional**







**APÊNDICE B – Planta de Locação.**



QUADRO DE ÁREAS DO PROJETO

Descrição	Área Total m²
Extensão do Terreno de Aluguel	100,00 m²
Área Construída	100,00 m²
Área de Circulação e Estacionamento	100,00 m²
Área de Recreação de Recreio	100,00 m²
Área Total de Recreação	100,00 m²
Área Total	100,00 m²

QUADRO DE ÁREAS GERAIS

Descrição	Área Total m²
Terreno	100,00 m²
Infraestrutura	100,00 m²
Área Útil	100,00 m²
Área de Recreação de Recreio	100,00 m²

**APÊNDICE C – Estimativa de Custos – Premissas.**

IT	DESCRIÇÃO	CUSTO UNITÁRIO		CUSTO TOTAL		OBSERVAÇÕES
		UNIDADE	R\$/UN	QTDE	R\$	
	<b>PREMISSAS</b>					
	<b>PORTE DO EMPREENDIMENTO</b>					
	(modelagem da capacidade)					
	Capacidade de recebimento	t/dia		20		
	Vida útil	anos		20		
	Monitoramento pós-encerramento	anos		20		
	Capacidade total	t		146.000		= t/dia x 365 dias x vida útil
	Densidade (resíduo disposto)	t/m³		0,5		
	Capacidade volumétrica - resíduos	m³		292.000		
	Capacidade volumétrica - solo de cobertura	m³		58.400		= 20% do volume de resíduos
	Capacidade volumétrica - total	m³		350.400		
	<b>TERRENO</b>					
	(modelagem geométrica)					
	Altura das camadas	m		2		
	Número de camadas	camadas		5		
	Altura total	m		10		
	Taludes	inclinação		2:1		
	Largura da base	m		180		
	Largura do topo	m		164		
	Área de disposição	m²		36.041		
	Aproveitamento de área	m³/m²		10		
	Área adicional (instalações, acessos, etc.)	%		12		
	Área adicional (instalações, acessos, etc.)	m²		4.326		
	Área de reserva legal	m²		10.091		otimizada = mínimo de 20% do total
	Área total do terreno	m²		50.458		otimizada = área mínima necessária
	Perímetro total	m		900		
	Volume de terraplanagem	m³		58.400		otimizado = solo de cobertura necessário
	<b>ESTIMATIVAS - RESUMO</b>					
	<b>QUANTIDADE DE RESÍDUOS</b>	t		146.000		
	<b>CUSTO TOTAL</b>			<b>100%</b>	<b>3.686.323,08</b>	
1.	Pré-implantação	imobilizado	20 anos	35,94%	1.324.879,27	
2.	Implantação	imobilizado	20 anos	64,06%	2.361.443,81	
	Valor do investimento - para fins de licenciamento				2.261.326,97	= soma dos itens 2.1 a 2.5
	<b>CUSTO MÉDIO POR TONELADA</b>			<b>100%</b>	<b>25,25</b>	
	Pré-implantação				9,08	
	Implantação				16,17	

**APÊNDICE D – Estimativa de Custos – Pré-implantação.**

IT	DESCRIÇÃO	CUSTO UNITÁRIO		CUSTO TOTAL		OBSERVAÇÕES
		UNIDADE	R\$/UN	QTDE	R\$	
	<b>ESTIMATIVAS</b>					
<b>1.</b>	<b>PRÉ-IMPLANTAÇÃO</b>				<b>1.324.879,27</b>	
<b>1.1</b>	<b>ESTUDO DE VIABILIDADE</b>				<b>90.000</b>	
	Estudo de viabilidade (téc., econ., legal e socioamb.)	vb			40.000	
	Busca de terrenos, av. téc. e docum., op. de compra	vb			50.000	
<b>1.2</b>	<b>AQUISIÇÃO DO TERRENO</b>				<b>1.022.765,30</b>	
	Aquisição do terreno (ou desapropriação)	m²	20,00	50.000	1.000.000	= área total
	Regularização da documentação	vb			1.657,65	
	Registro de imóveis	vb			1.107,65	= área total
	Impostos e Taxas (ITBI)	% do valor	2,00%	1.000.000	20.000	= valor venal
<b>1.3</b>	<b>PROJETO E LICENCIAMENTO</b>				<b>205.546</b>	
	Levantamento planialtimétrico e cadastral	m²	0,10	50.458	5.046	= área total / índice PINI com redução
	Sondagens (a percussão)	m	150,00	10	1.500	
	Ensaio geotécnicos e geofísicos	vb			3.000	custo = 2 x sondagem
	Projeto básico (implantação, operação e encerramento)	vb			40.000	
	Plano de trabalho, EIA/RIMA	vb			150.000	
	Audiências públicas	vb			6.000	
<b>1.4</b>	<b>IMPOSTOS E TAXAS</b>				<b>6.567,97</b>	
	LAP - Licença Ambiental Prévia	vb			5.715,97	
	Outorga da SDS (captação de água)	vb			852,00	

**Apêndice E – Estimativa de Custos – Implantação.**

IT	DESCRIÇÃO	CUSTO UNITÁRIO		CUSTO TOTAL		OBSERVAÇÕES
		UNIDADE	R\$/UN	QTDE	R\$	
<b>2.</b>	<b>IMPLANTAÇÃO</b>				<b>2.361.443,81</b>	
<b>2.1</b>	<b>INFRAESTRUTURA GERAL</b>				<b>484.884,50</b>	
	Engenharia detalhada (projetos executivos)	vb			115.000	
	Mobilização e desmobilização de empreiteiros	vb			15.225	
	Implantação de canteiro	vb			4.181,35	
	Topografia e locações de implantação	vb/mês	18.430,44	2	36.860,88	tabela SENG/SC e tabela do CUB
	Cercamento de área - externo	m	61,30	900	55.171,20	tabela TCPO - em arame simples
	Cercamento de área - interno	m	125,00	90	20.250	tabela TCPO - em tela com altura 1,80 m
	Instalação de poços de monitoramento	un	2.500	4	10.000	
	Análises de água subterrânea (branco)	análise	1.000	4	4.000	
	Acesso externo (pavimentação primária)	m²	17,50	1.573,25	27.531,87	
	Acesso internos (pavimentação primária)	m²	17,50	6.048	105.840	
	Instalações de água (poço artesiano e rede)	m	150,00	10	1.500	
	Instalações de esgoto sanitário (rede, ETE)	vb			11.600	valor estimado com base na TCPO
	Reservatório de água e incêndio	vb			4.400	valor estimado com base na TCPO
	Instalações elétricas (linha externa, entrada e rede interna)	vb			54.691,36	valor estimado com base na TCPO
	Instalações de telefonia (cabo)	vb			13.632,84	valor estimado com base na TCPO
	Estação meteorológica	vb			5.000	
<b>2.2</b>	<b>CÉLULAS DE DISPOSIÇÃO</b>	% na implantação	10%		<b>1.215.154,59</b>	
	Terraplenagem				131.259,26	
	Limpeza da área de disposição	m²	0,56	3.964,51	2.220,13	= área disposição + 10%
	Limpeza da área adicional	m²	0,56	216,3	121,13	= 50% da área adicional
	Movimentação de terra	m³	8,83	14.600	128.918	= 50% da capacidade volumétrica (resíduos) - tabela DEINFRA
	Sistema de impermeabilização	m²	146,73	3.964,51	581.712,55	= área da base + 10%
	Estrutura e cobertura da célula (telhado)	m²	100,20	3.964,51	397.243,90	= área disposição + 10%
	Calha	m	26,24	72	1.889,28	
	Rufo	m	26,24	40	1.049,60	
	Drenagem e poços de base	vb			100.000	estimado
	Controles de qualidade da obra e insumos	vb			2.000	estimado
<b>2.3</b>	<b>SISTEMA DE TRATAMENTO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS</b>				<b>165.295,40</b>	
	Rede coletora	m	291,15	396	115.295,40	= largura da base x 2 x 1,1
	Estação elevatória	vb			10.000	estimado
	Estação de tratamento de efluente (ETE)	vb			50.000	estimado
<b>2.4</b>	<b>ÁREAS VERDES</b>				<b>108.042,48</b>	
	Reflorestamento (no terreno e/ou fora dele)	m²	13,12	2.522,75	33.098,48	= 20% da área do terreno com 1 muda a cada 4 m²
	Cortina vegetal (cerca viva ou cinturão verde)	m²	13,12	4.950	64.944	= perímetro do terreno x 11 m de largura com 1 muda a cada 2 m²
	Paisagismo	vb			10.000	
<b>2.5</b>	<b>INSTALAÇÕES DE APOIO</b>				<b>287.950</b>	
	Portaria / portão / cancela	vb			10.950	
	Guarita de controle e balança rodoviária	vb			40.000	
	Lavador de rodas com equipamentos	vb			7.000	
	Sistema de vigilância e segurança patrimonial	vb			20.000	
	Galpão de manutenção com equipamentos e ferramentas	vb			60.000	
	Galpão de apoio operacional / refeitório / vestiários	vb			50.000	
	Laboratório para análises expeditas com equipamentos	vb			20.000	
	Escritórios com móveis, equipamentos e utensílios	vb			80.000	
<b>2.6</b>	<b>ADMINISTRAÇÃO</b>				<b>67.839,81</b>	
	Gerenciamento e despesas internas com a implantação	vb		3%	67.839,81	= porcentagem do custo total de implantação
<b>2.7</b>	<b>IMPOSTOS E TAXAS</b>				<b>32.277,03</b>	
	LAI - Licença Ambiental de Instalação	vb			14.219,42	
	Taxa de compensação ambiental	0,50%			11.306,63	sobre valor do investimento (otimizado = taxa mínima)
	Outras contrapartidas	0,25%			5.653,31	sobre valor do investimento (otimizado = 1/2 da compensação)
	Alvará de funcionamento	m²	1,60	686,04	1.097,66	